

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації
Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОЇ ТЕПЛИЦІ
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи АПСм-22-1

Лайко Б.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма _____

Архітектурне проектування інформаційних систем

(повна назва освітньої програми)

Керівник професор Цопа О.І.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

В.о. зав кафедри _____

(підпис)

Зарудний О. А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Архітектурне проєктування інформаційних систем

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові ЛАЙКУ БОГДАНУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОЇ ТЕПЛИЦІ

затверджена наказом університету від 03.11.2023 р. № 1295 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11 01 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Провести аналіз предметної області

3.2 Виконати архітектурні підходи до розробки

3.3 Розробити програмне забезпечення

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

4.1 Аналіз предметної області

4.2 Архітектурні підходи до розробки системи

4.3 Розробка програмного забезпечення

Висновки

Перелік джерел посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Комп'ютерна презентація.

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

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Цопа О.І.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	03.11.23-04.11.23	вик.
2	Аналіз предметної області	05.11.23-30.11.23	вик.
3	Архітектурні підходи до розробки системи	30.11.23-10.12.23	вик.
4	Розробка програмного забезпечення	11.12.23-01.01.24	вик.
5	Висновки	05.01.24	вик.
6	Оформлення пояснювальної записки	06.01.24	вик.
7	Оформлення ілюстрацій	08.01.24	вик.
8	Подання на кафедру	10.01.24	

Дата видачі завдання 03 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

проф. Цопа О.І.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, що містить 94 сторінки тексту, 15 рисунків, 10 таблиць, 37 літературних джерел і 4 додатка.

СИСТЕМА. КЕРУВАННЯ. МОНІТОРИНГ. МОДУЛЬ. КОНТРОЛЬ. МІКРОКЛІМАТ. МІКРОКОНТРОЛЕР.

Мета роботи – дослідження можливості реалізації автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату, робота якої полягає у відслідковуванні поточного стану теплиці з точки зору її мікрокліматичних показників, вибір необхідного режиму роботи, а також керування мікрокліматичними показниками у режимі реального часу через веб-інтерфейс.

Метод дослідження – описово-аналітичний

В роботі здійснено огляд та класифікацію теплиць, проведено аналіз існуючих рішень для «розумних теплиць», розроблено алгоритм роботи та здійснено вибір елементної бази для реалізації автоматизованої системи контролю та керування параметрами мікроклімату теплиці. Також були розроблені структурна схема для модулів керування та моніторингу автоматизованої системи керування теплицею, обрана елементна база для модулів керування та моніторингу та програмне забезпечення роботи системи. Розроблено веб-інтерфейс користувача.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of an explanatory note containing 94 pages of text, 15 figures, 10 tables, 37 literary sources and 4 appendices.

SYSTEM. MONITORING. CONTROL. MODULE. MICROCLIMATE. MICROCONTROLLER.

The purpose of the work is to investigate the possibility of implementing an automated microclimate control system, the work of which consists in monitoring the current state of the greenhouse from the point of view of its microclimatic indicators, choosing the necessary operating mode, as well as managing microclimatic indicators in real time through a web interface.

The research method is descriptive and analytical

The work reviewed the existing systems for maintaining the microclimate of greenhouses in "smart greenhouses", considered the principles of construction and operation of greenhouse microclimate control systems, developed a work algorithm, and selected an element base for the implementation of an automated system for monitoring and managing greenhouse microclimate parameters. The structural diagram for the control and monitoring modules of the automated greenhouse control system, the elemental base for the control and monitoring modules and the system operation software were also developed. A web user interface has been developed

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	8
Вступ.....	9
1 Аналіз предметної області	10
1.1 Аналіз та класифікація інформаційних систем	10
1.2 Методологія та методи проектування інформаційних систем.....	12
1.3 Засоби проектування інформаційних систем та їх класифікація.....	13
1.4 Огляд та класифікація теплиць.....	15
1.5 Аналіз існуючих рішень для «розумної теплиці»	18
1.5.1 Інтеграція з «Internet of Things».....	18
1.5.2 Автоматичні системи поливу	19
1.5.3 Використання дронів та машинного навчання	20
1.5.4 Геотермальне опалення та охолодження	21
1.5.5 Використання LED-освітлення.....	22
1.5.6 Гідропоніка та аеропоніка.....	23
1.7 Постановка задачі.....	24
1.8 Стейкхолдери системи та їх цілі і зацікавленість у системі	24
2 Архітектурні підходи до розробки системи	26
2.1 Атрибути якості.....	26
2.2 Вибір та обґрунтування структурної схеми.....	26
2.3 Визначення параметрів мікроклімату для вирощування рослин.....	31
2.4 Архітектурні підходи до вибору датчиків	33
2.4.1 Архітектурний підхід до вибору датчика температури повітря	33
2.4.2 Архітектурний підхід до вибору датчика CO ₂	35
2.4.3 Архітектурний підхід до вибору датчика вологості повітря	37

	6
2.4.4 Архітектурний підхід до вибору датчика температури ґрунту	39
2.4.5 Архітектурний підхід до вибору датчика вологості ґрунту.....	40
2.4.6 Архітектурний підхід до вибору датчика світла.....	41
2.5 Архітектурні підходи до вибору виконавчих пристроїв	43
2.5.1 Архітектурний підхід до вибору вентилятора	43
2.5.2 Архітектурний підхід до вибору зволожувача.....	45
2.5.3 Архітектурний підхід до вибору кондиціонера	46
2.5.4 Архітектурний підхід до вибору системи подачі води.....	48
2.5.5 Архітектурний підхід до вибору системи зашторювання	49
2.5.6 Архітектурний підхід до вибору терморегулятора ґрунту	50
2.6 Архітектурний підхід до вибору блока керування	52
2.7 Схема підключення обраних елементів	55
2.8 Алгоритм роботи пристрою.....	55
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	61
3.1 Підключення бібліотек та визначення констант.....	61
3.2 Ініціалізація об'єктів та змінних.....	62
3.3 Функції збереження та завантаження порогових значень	64
3.4 Веб-сервер та відображення HTML сторінки	66
3.5 Обробка HTTP запиту для встановлення порогових значень вологості та температури.....	66
3.6 Налаштування та запуск веб-сервера	68
3.7 Ініціалізація та підключення компонентів.....	69
3.8 Цикл зчитування та відправлення даних	71
3.9 Запис даних в Google таблицю	72
ВИСНОВКИ	74

	7
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	75
ДОДАТОК А (Довідниковий)	
ДОДАТОК Б (Рекомендований)	
Додаток В (Обов'язковий)	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ІС – інформаційна система;

ЕОМ - електронний обчислювальний механізм (комп'ютер);

RFID - радіочастотна ідентифікація;

AI - штучний інтелект;

ІоТ - інтернет речей;

LED – світлодіод;

Wi-Fi - бездротовий інтерфейс;

CO₂ - концентрація вуглекислого газу;

HTTP - протокол передачі гіпертексту;

HTTPS - захищений протокол передачі гіпертексту;

EEPROM - електрично стираюча програмована та читабельна тільки за наявності пам'ять;

URL - загальний локатор ресурсів;

HTML - мова розмітки гіпертексту;

IP – інтернет протокол;

ВСТУП

Інформація в сучасному світі перетворилася в один із найбільш важливих ресурсів, а інформаційні системи (ІС) стали необхідним інструментом практично в усіх сферах діяльності. Різноманітність завдань, що вирішуються за допомогою ІС, призвела до появи множини різнотипних систем, які відрізняються принципами побудови і закладеними в них правилами обробки інформації [1].

З кожним днем зайнятість людства через повсякденну роботу збільшується. Необхідність у скороченні витрат для підприємств, а також можливість надійно контролювати всі процеси виробництва є основним критерієм успішного бізнесу.

На сьогодні, перспективним напрямком в агробізнесі - є використання автоматизованих систем для керування мікрокліматом у теплицях. «Розумне» виробництво продуктів для сільськогосподарського ринку сприятиме імпортозаміщенню і розвитку країни. Впровадження доступних і простих у використанні систем управління мікрокліматом допоможе скоротити витрати і покращить продуктивність вирощування продуктів харчування в теплицях.

В умовах зміни клімату, виснаження ресурсів і зростання населення, світова сільськогосподарська промисловість опинилася під значним тиском. У міру посилення непередбачуваності виробники звертаються до передових технологій для підвищення ефективності виробництва і стійкості сільськогосподарських культур.

Відкриваючи доступ до великих знань про сільськогосподарські культури, «розумна теплиця» дозволяє виробникам мінімізувати трудовитрати, підвищувати ефективність використання ресурсів і хімікатів при оптимізації врожайності [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз та класифікація інформаційних систем

Інформаційні системи можна класифікувати за різними ознаками. Їх розділяють на класи залежно від «обсягу вирішуваних завдань, використовуваних технічних засобів та організації функціонування».

За типом даних, які зберігаються, ІС класифікують на фактографічні та документальні. Фактографічні системи призначені для зберігання та обробки структурованих даних у вигляді чисел і текстів, над такими даними можна виконувати різні операції. У документальних системах інформація подана у вигляді документів, які складаються з найменувань, описів, рефератів і текстів. Пошук серед неструктурованих даних здійснюють із використанням семантичних ознак.

За ступенем автоматизації інформаційних процесів в системі управління фірмою, ІС діляться на ручні, автоматичні та автоматизовані. Ручні характеризуються відсутністю сучасних технічних засобів переробки інформації та виконанням всіх операцій людиною. В автоматичних всі операції з переробки інформації виконуються без участі людини. Автоматизовані ІС припускають участь в процесі обробки інформації людини і технічних засобів, при цьому головна роль у виконанні операцій обробки даних відводиться комп'ютеру.

Залежно від характеру обробки даних ІС класифікують на інформаційно–пошукові та інформаційно–розв'язуючі. Інформаційно–пошукові системи виконують введення, систематизацію, зберігання, видачу інформації за запитом користувача без складних перетворень даних. Інформаційно–розв'язуючі системи здійснюють, крім того, операції переробки інформації за певним алгоритмом.

Результуюча інформація керуючих ІС безпосередньо трансформується в прийняті людиною рішення. Для цих систем характерні завдання

розрахункового характеру та обробка великих обсягів даних.

Інформаційні системи, які надають поради, виробляють інформацію, яка приймається людиною до відома і враховується при формуванні управлінських рішень, вона не ініціює конкретні дії. Вони імітують інтелектуальні процеси обробки знань, а не даних.

Залежно від сфери застосування розрізняють такі класи ІС:

- інформаційна система організаційного управління. Призначена для автоматизації функцій управлінського персоналу як промислових підприємств, так і непромислових об'єктів (готелів, банків, магазинів тощо). Основними функціями подібних систем є: оперативний контроль і регулювання, оперативний облік та аналіз, перспективне та оперативне планування, бухгалтерський облік, управління збутом, постачанням, інші економічні та організаційні завдання;

- інформаційна система управління технологічними процесами. Призначена для автоматизації функцій виробничого персоналу по контролю та управлінню виробничими операціями. У таких системах зазвичай передбачається наявність розвинених засобів вимірювання параметрів технологічних процесів (температури, тиску, хімічного складу тощо), процедур контролю допустимості значень параметрів і регулювання;

- інформаційна система автоматизованого проектування. Призначена для автоматизації функцій інженерів–проектувальників, конструкторів, архітекторів, дизайнерів при створенні нової техніки або технології. Основними функціями подібних систем є: інженерні розрахунки, створення графічної документації (креслень, схем, планів), створення проектною документації, моделювання проєктованих об'єктів;

- інтегровані (корпоративні) ІС. використовують для автоматизації всіх функцій фірми та охоплюють весь цикл робіт від планування діяльності до збуту продукції. Вони включають в себе ряд модулів (підсистем), які працюють в єдиному інформаційному просторі та виконують функції підтримки відповідних напрямів діяльності [3].

1.2 Методологія та методи проектування інформаційних систем

Оснoву технології проектування ІС становить методологія, яка визначає сутність, основні відмінні технологічні особливості. В процесі створення проекту ІС організація проектування передбачає визначення методів взаємодії проектувальників між собою та із замовником.

Методи проектування ІС можна класифікувати за ступенем: використання засобів автоматизації, використання типових проектних рішень, адаптивності до передбачуваних змін.

За ступенем автоматизації розрізняють такі методи:

- ручного проектування, при якому проектування компонентів ІС здійснюється без використання спеціальних інструментальних програмних засобів, а програмування виконується на алгоритмічних мовах;

- комп'ютерного проектування, яке передбачає генерацію або налаштування проектних рішень на основі використання спеціальних інструментальних програмних засобів.

За ступенем використання типових проектних рішень розрізняють такі методи: оригінального (індивідуального) проектування, коли проектні рішення розробляються «з нуля» відповідно до вимог інформаційної системи, типового проектування, який передбачає конфігурацію (налаштування) ІС з готових типових проектних рішень.

Оригінальне проектування ІС характеризується тим, що всі види проектних робіт орієнтовані на створення індивідуальних для кожного об'єкта проектів, які в максимальній мірі відображають всі його особливості. Типове проектування виконується на основі досвіду, отриманого при розробці індивідуальних проектів. Типові проекти в конкретному випадку пов'язані з специфічними особливостями та різняться за ступенем охоплення функцій управління, виконуваних робіт і розробляємої проектної документації.

За ступенем адаптивності проектних рішень розрізняють такі методи:

- реконструкції, коли адаптація проектних рішень виконується шляхом

переробки відповідних компонентів (перепрограмування програмних модулів);

- параметризації, коли проектні рішення налаштовуються (перегенеруються) відповідно до змін параметрів;

- реструктуризації моделі, коли змінюється модель проблемної області, на основі якої автоматично перегенеруються проектні рішення.

Поєднання різних ознак класифікації методів проектування обумовлює характер використовуваної ІС, серед яких виділяються два основні класи: канонічна та індустріальна технології [4].

1.3 Засоби проектування інформаційних систем та їх класифікація

Засоби проектування ІС можна розділити на два класи. Перший - без використання ЕОМ. Другий - із використанням електронно-обчислювальних машин (автоматизовані).

Засоби проектування без використання ЕОМ застосовують на усіх стадіях та етапах проектування ІС. Зазвичай, це є засоби організаційно– методичного забезпечення операцій проектування, які підтримують різні стандарти, що регламентують процес проектування систем. Сюди ж відносяться єдина система класифікації та кодування інформації, уніфікована система документації, моделі опису та аналізу потоків інформації тощо.

Автоматизовані засоби проектування можуть застосовуватися на окремих і на усіх стадіях та етапах процесу проектування ІС. Вони підтримують розробку елементів проекту, розділів проекту та проекту системи в цілому.

Засоби автоматизованого проектування ділять на чотири підкласи.

До першого підкласу відносяться операційні засоби, які підтримують проектування операцій обробки інформації. До даного підкласу засобів відносяться алгоритмічні мови, бібліотеки стандартних підпрограм і класів об'єктів, макрогенератори, генератори програм типових операцій обробки даних тощо, а також засоби розширення функцій операційних систем

(утиліти). В цей клас включають також такі інструментальні засоби проектування, як засоби для тестування і налагодження програм, підтримки процесу документування проекту тощо. Особливість останніх програм полягає в тому, що з їх допомогою підвищується продуктивність праці проєктувальників, але не розробляється закінчене проєктне рішення.

До другого підкласу відносять засоби, що підтримують проектування окремих компонентів проєкту ІС. До даного підкласу відносяться засоби загальносистемного призначення:

- системи управління базами даних;
- методо–орієнтовані пакети прикладних програм;
- табличні процесори;
- статистичні пакети прикладних програм;
- оболонки експертних систем;
- графічні редактори;
- текстові редактори;
- інтерактивне середовище з вбудованими діалоговими можливостями,

що дозволяє інтегрувати перераховані вище програмні засоби.

Для перерахованих засобів проектування характерним є їх використання для розробки технологічних підсистем ІС введення інформації та організації, до яких слід віднести:

- зберігання й доступ до даних;
- обчислення, аналіз, відображення даних;
- прийняття рішень.

До третього підкласу відносяться засоби, що підтримують проектування розділів проєкту ІС. У цьому підкласі виділяють функціональні засоби проектування. Функціональні засоби спрямовані на розробку автоматизованих систем, що реалізують функції, комплекси завдань і завдання управління. Різноманітність предметних областей породжує різноманіття засобів цього підкласу.

До четвертого підкласу засобів проектування ІС відносяться засоби, які

підтримують розробку проекту на стадіях та етапах процесу проектування. До даного класу відноситься підклас засобів автоматизації проектування ІС [4].

1.4 Огляд та класифікація теплиць

«Розумна теплиця» являє собою автономний, роботизований та ізолюваний від зовнішніх впливів сільськогосподарський об'єкт, що слугує для отримання рослинницької продукції в автоматичному режимі, що максимально мінімізує участь людини. Система оптимізує економіку об'єкта з урахуванням витрат та споживчої активності, дотримується екологічних та санітарно-гігієнічних регламентів, використовуючи цифрові технології (штучний інтелект, інтернет речей, RFID та інші) з урахуванням агроекологічної оцінки гібридів та сортів рослин, аналізу ґрунтів тощо.

За типом рослинного вирощування бувають:

- овочеві;
- квіткові теплиці;
- теплиці для розсадництва.

За технологією вирощування рослин, «розумні теплиці» можна розділити на кілька типів залежно від умов, систем та методів вирощування:

– теплиці з контрольованим кліматом. Ці теплиці обладнані системами для автоматичного регулювання температури, вологості, освітлення та вентиляції.

– вертикальні теплиці. Це сучасна технологія вирощування рослин у вертикальних структурах, де культури розміщені на різних рівнях одна над однією;

– гідропоніки. Це метод вирощування рослин, де коріння знаходиться у воді, що містить необхідні поживні речовини;

– аеропоніки. Цей метод полягає в збереженні кореневої системи рослин у повітрі, де поживні розчини розпилюються на корені.

Ці технології можуть використовуватися як окремо, так і у поєднанні одна

з одною залежно від специфіки та цілей конкретного сільськогосподарського підприємства чи тепличного комплексу. Кожен метод має свої переваги та обмеження, але в цілому спрямований на покращення врожайності та оптимізацію умов для росту рослин.

За часом експлуатації теплиці поділяють на:

– сезонні. Призначені для вирощування рослин у певний період року, частіше за все в осінньо-зимовий період;

– цілорічні теплиці. Забезпечують можливість вирощування рослин протягом усього року, регулюючи внутрішню атмосферу для оптимальних умов росту.

За конструктивними особливостями бувають:

– односкілі теплиці. Це теплиці з одним нахиленим дахом. Така форма даху спрямована збільшити кількість проникаючого світла всередину теплиці. Можуть стояти як окремо, так і прилаштовуватися з південної чи західної сторони до споруд, де можливий вхід з середини, що в свою чергу заощаджує будматеріали та вартість на проектуванні та опаленні;

– двоскілі теплиці. У даній конструкції є два нахилені дахи, які з'єднуються у вершині. Ця конструкція створює більше простору для росту рослин і дозволяє створення різних зон росту для рослин і надає більше простору для установки додаткового обладнання. Дана конструкція забезпечує рівномірне нагрівання та охолодження, є легкою в монтуванні, забезпечує легке скачування снігу;

– арочні. Вони мають арочну, продовговату форму, що дозволяє розподіляти рівномірно навантаження від снігу чи дощу та забезпечувати хорошу стійкість від зовнішніх навантажень, а мала площа поверхні дозволяє заощадити на будівництві. Даний тип теплиці є легким у монтуванні;

– краплевидні. Це теплиці зі специфічною формою даху, яка нагадує краплі води. Характерною особливістю знижену частину даху, що дозволяє краще розподіляти світло та зменшити навантаження від опадів;

– конструкція Мітлайдера. Це конструкційна особливість даху теплиці,

яка характеризується звуженою верхньою частиною даху, що спрямована на підвищення ефективності системи вентиляції та розподілу світла всередині теплиці. Також конструкція допомагає утримувати тепло та вологу в теплиці, сприяє рівномірному розподілу світла, зменшує ризик утворення конденсату на внутрішній поверхні даху.

За способом обігріву виділяють споруди:

- з природнім обігрівом. Використовують природні джерела тепла, такі як сонячна та вітрова енергія;
- з електричним обігрівом. Використовуються електричні обігрівачі або системи підігріву ґрунту, які можуть бути розташовані вздовж стін або під підлогою. Цей спосіб дозволяє більш точно контролювати температуру всередині теплиці;
- з газовим обігрівом. Використовують газові опалювальні котли або інші системи, які працюють на природному рідкому газі;
- з опалювальними системами на основі твердого палива. Для опалення використовують такі матеріали як дрова, вугілля або біопаливо;
- з використанням геотермального обігріву. Використовуючи тепло землі для регулювання температури всередині споруди.

Ці способи можуть використовуватися окремо чи комбінуватися для створення оптимальних умов для вирощування рослин у теплицях в залежності від кліматичних умов та потреб культур.

За будівельними ознаками споруди можуть бути розділені на кілька категорій відповідно до їхньої будівельної конструкції:

- каркасні. Будуються за допомогою каркасу — скелету з металу, дерева або інших матеріалів, на який встановлюється зовнішня оболонка. Каркас може бути складеним з певних модулів, що полегшує будівництво;
- монолітні. Це споруди, що будуються з використанням залізобетонних конструкцій, де бетон литий безпосередньо на місці будівництва в спеціальні опалубки, утворюючи міцний монолітний корпус;
- каркасно-панельні. Це споруди, де конструкція складається з

комбінації каркасної та панельної систем будівництва. Каркас може бути підсилений панелями зі спеціальних матеріалів, що спрощує будівництво та зменшує час виконання робіт;

- фахверкові. Це споруди, що мають фахверкову конструкцію, де стіни складаються з дерев'яних рам, які встановлюються у відповідному порядку та заповнюються різними матеріалами;

- цегляні. Це споруди, що складаються з кам'яних або цегляних стін, які будуються шар за шаром для формування стіни будівлі.

Ці категорії відображають різноманітність будівельних технологій та методів конструкції, які використовуються при будівництві споруд залежно від їхнього призначення та специфіки будівництва.

За видом світлопроникного огороження споруди можуть бути розділені на наступні типи:

- скляні. Це споруди з скляними стінами або дахом, що забезпечують високий рівень проникнення природного світла всередину теплиці;

- полікарбонатні. Мають високу проникність ультрафіолетового світла та хорошу ізоляцію;

- плівкові. Це споруди з використанням різних видів плівки або мембранного матеріалу для створення світлопроникних стін або даху. Даний матеріал забезпечує ефективну теплоізоляцію та пропускання світла.

Кожен вид світлопроникного огороження має свої особливості та застосування в залежності від потреб будівельного проекту, кліматичних умов та функціональних вимог споруди [5].

1.5 Аналіз існуючих рішень для «розумної теплиці»

1.5.1 Інтеграція з «Internet of Things»

Системи IoT у контексті «розумних теплиць» представляють собою мережу з'єднаних пристроїв і сенсорів, які збирають дані про різні параметри

середовища в теплиці. Ці дані можуть включати температуру повітря та ґрунту, вологість, рівень CO₂, освітлення, рівень рН та інше.

Одна з ключових переваг використання IoT у «розумних теплицях» - це можливість отримання реального часу інформації про умови росту рослин. Це дає можливість оперативно реагувати на зміни в середовищі і вчасно вносити корективи для оптимізації умов вирощування.

Збираючи дані з сенсорів, системи IoT передають цю інформацію до хмарних платформ або локальних серверів, де вона може бути оброблена та проаналізована. Аналітика даних в цьому випадку використовується для виявлення зв'язків, трендів та закономірностей у зібраних даних.

Такий аналіз може включати:

- прогнозування умов. Аналіз попередніх даних для передбачення оптимальних умов росту рослин в майбутньому;
- оптимізація ресурсів. Визначення оптимальних параметрів середовища для ефективного використання води, енергії та інших ресурсів;
- прийняття рішень. На основі аналізу даних можна розробляти автоматизовані системи управління, які регулюють умови в теплиці для досягнення максимального врожаю;
- виявлення проблем. Аналіз даних допомагає виявляти відхилення в параметрах росту рослин, що дозволяє оперативно реагувати на хвороби, шкідників або несприятливі умови.

Застосування аналітики даних у сполученні з системами IoT дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту рослин, зменшити витрати ресурсів та підвищити продуктивність теплиць. Це один із ключових елементів створення ефективних та інноваційних «розумних теплиць» [10].

1.5.2 Автоматичні системи поливу

Автоматичні системи поливу в «розумних теплицях» є важливою складовою для точного та ефективного забезпечення рослин водою відповідно

до їхніх потреб. Ці системи складаються з різних компонентів, спрямованих на оптимізацію процесу поливу та використання водних ресурсів.

Сенсори вологості ґрунту є одним із ключових елементів цих систем. Вони розташовуються у ґрунті поруч з рослинами та надсилають дані про рівень вологості до системи управління. Це дозволяє точно визначити потреби рослин у воді.

Системи поливу можуть використовувати різні методи, такі як спрінклери, крапельний полив або інші, і можуть бути налаштовані на певний графік або активуватися за допомогою даних від сенсорів.

Адаптивне управління цими системами дозволяє регулювати кількість води, поданої до кожної рослини, враховуючи фактори, такі як погода, тип ґрунту, тип рослин та їхні водні потреби. Це забезпечує оптимальне використання водних ресурсів.

Деякі автоматичні системи поливу дозволяють віддалено керувати поливом через мобільні додатки або онлайн-платформи, що робить їх управління зручним та ефективним.

Використання автоматичних систем поливу допомагає у ефективному використанні водних ресурсів, уникненні перенасичення або пересушування ґрунту, забезпечуючи рослини рівномірним та оптимальним зрошенням. Це призводить до підвищення врожайності та якості рослинної продукції в теплицях [11].

1.5.3 Використання дронів та машинного навчання

Використання дронів у сільському господарстві, особливо в «розумних теплицях», відіграє важливу роль у зборі даних та оптимізації виробництва. Дрони забезпечують можливість аеріального моніторингу, а їхні камери дозволяють отримувати велику кількість візуальних даних, що використовуються для аналізу стану рослин та урожайності.

Моніторинг рослин здійснюється за допомогою дронів, які

використовуються для визначення стану рослин, виявлення хвороб, шкідників, стресових умов, а також для оцінки урожайності. Ці дані допомагають фермерам приймати рішення щодо вжиття заходів для поліпшення вирощування та максимізації врожайності.

За допомогою алгоритмів машинного навчання обробляються великі обсяги даних, отриманих від дронів та інших джерел. Це дозволяє прогнозувати урожайність, визначати оптимальні параметри поливу, вологості ґрунту, регулювати освітлення та інші аспекти управління теплицями.

Застосування машинного навчання також допомагає в розпізнаванні хвороб та шкідників на рослинах за зображеннями, що дозволяє оперативно виявляти проблеми та приймати необхідні заходи.

Використання дронів у поєднанні з машинним навчанням у «розумних теплицях» сприяє збору великої кількості даних та їхньому аналізу для оптимізації процесів вирощування рослин. Це призводить до підвищення продуктивності та якості виробництва, а також до зменшення витрат ресурсів для фермерів [12].

1.5.4 Геотермальне опалення та охолодження

Геотермальне опалення та охолодження в «розумних теплицях» - це інноваційний метод регулювання температури, який використовує теплову енергію, що накопичується в ґрунті або воді. Ця технологія дозволяє ефективно керувати температурними умовами всередині теплиці.

Принцип роботи геотермального опалення полягає в тому, що теплообмінники, розташовані у ґрунті або воді, забирають тепло за допомогою теплових насосів або систем теплообміну. У холодний період це тепло використовується для нагрівання повітря в теплиці. Зворотно, у літній період, коли потрібно охолодження, система відводить тепло з теплиці у ґрунт або воду, щоб запобігти перегріванню рослин.

Ця технологія є енергоефективна, оскільки використовує стабільну теплову енергію, що зберігається в природних джерелах. Це дозволяє зменшити споживання енергії та витрати на опалення та охолодження. Також вона екологічно чиста, оскільки не потребує великих обсягів палива чи електроенергії, мінімізуючи викиди шкідливих речовин.

Особливою перевагою є довговічність та мінімальна необхідність у обслуговуванні геотермальних систем. Ці системи мають високу надійність та не вимагають значних зусиль після встановлення, що робить їх вигідними для тривалого використання у сільському господарстві.

Отже геотермальне опалення та охолодження стає все більш популярним методом для підтримки оптимальних умов вирощування рослин у «розумних теплицях». Ця технологія не лише забезпечує стабільність температур, але й сприяє зменшенню витрат енергії та збереженню навколишнього середовища [13].

1.5.5 Використання LED-освітлення

Розумне використання LED-освітлення в сільському господарстві, зокрема в теплицях, стає ключовим елементом для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Світлодіодні лампи в цьому контексті виявляються ефективним та енергоефективним джерелом світла, яке може бути налаштоване для забезпечення потрібного спектру та інтенсивності світла для рослин у будь-яку пору року.

LED-освітлення забезпечує високу енергоефективність, оскільки споживає менше електроенергії в порівнянні з іншими джерелами світла, при цьому видаючи більше світла на одиницю спожитої енергії. Характеризується тривалим терміном служби, маючи довговічність, що дозволяє зменшити витрати на підтримку та обслуговування.

Одним з ключових аспектів LED-освітлення є його можливість налаштування спектру світла. Це дозволяє фермерам створювати оптимальне світло для різних фаз росту рослин, від вегетації до плодоношення. Керування

тривалістю світлового дня також є можливим завдяки LED-освітленню, що дозволяє оптимізувати цикли росту рослин.

Технологія LED-освітлення знайшла широке застосування в сучасних сільськогосподарських системах, де використовується для удосконалення умов вирощування рослин, підвищення врожайності та оптимізації споживання енергії. Її переваги полягають у високій ефективності, гнучкості в налаштуванні та спрямованості на підтримку життєвого циклу рослин, що робить LED-освітлення однією з ключових технологій у розумному та продуктивному сільському господарстві [14].

1.5.6 Гідропоніка та аеропоніка

Гідропоніка та аеропоніка представляють передові методи вирощування рослин без використання ґрунту, пропонуючи оптимальні умови для їхнього росту та розвитку.

Гідропоніка використовує водні розчини, що містять необхідні поживні речовини для рослин. Ці системи можуть бути різними за своєю структурою та способом подачі поживних розчинів від плаваючих систем до крапельного зрошення. Головна перевага полягає у ефективному використанні води, яка циркулює у системі, що дозволяє її повторно використовувати. Крім того, гідропоніка забезпечує точний контроль рівня поживних речовин, рН та інших параметрів для оптимізації росту рослин.

Аеропоніка використовує метод, де коріння рослин знаходиться у повітрі, а поживні речовини подаються за допомогою туману або аерозолю. У такій системі рослини ростуть у спеціальних контейнерах або підвішені у повітрі. Основна перевага аеропоніки полягає у ефективному використанні поживних розчинів, що дозволяє рослинам максимально ефективно використовувати поживні речовини.

Обидва методи використовуються в сучасному сільському господарстві як ефективні рішення для оптимізації вирощування рослин та максимізації врожаю, спрощуючи мінімізацію використання ресурсів [15].

1.7 Постановка задачі

Дана кваліфікаційна робота спрямована на розробку та реалізацію інформаційної системи, яка забезпечить підтримку, моніторинг та аналіз мікрокліматичних умов в домашній теплиці площею 20 м² для оптимізації процесу вирощування рослин.

Ключові завдання:

- розробити систему, яка матиме здатність автоматично регулювати умови мікроклімату в теплиці на основі попередньо заданих параметрів;
- розробити інтерфейс користувача для можливості зміни параметрів середовища;
- визначити необхідні параметри мікроклімату для вирощування рослин;
- здійснити вибір датчків та виконавчих механізмів;
- реалізувати механізми збору даних від датчиків та їх передачу на зовнішній веб-сервер для зберігання і подальшого аналізу.

1.8 Стейкхолдери системи та їх цілі і зацікавленість у системі

Стейкхолдер (stakeholder) – це зацікавлена в проєкті особа або сторона, яка має до нього буд-яке відношення. Зацікавлені сторони важливі, оскільки своїми рішеннями вони можуть позитивно чи негативно впливати на проєкт [17].

Зважаючи на архітектуру системи моніторингу мікроклімату в теплиці, важливо врахувати різноманітних стейкхолдерів, кожен з яких має свої унікальні цілі та зацікавленість у проєкті.

Стейкхолдери системи зображені на рисунку 1.1.

Власник теплиці визначає основні цілі як забезпечення оптимальних умов для вирощування рослин та отримання високої якості та врожайності. Його зацікавленість полягає в отриманні точних і надійних даних про мікроклімат та можливості ефективного керування умовами в теплиці.



Рисунок 1.1 – Стейкхолдери системи

Фермер спрямовує свої цілі на оптимізацію процесу вирощування, підвищення врожайності та мінімізацію витрат на утримання. Його зацікавленість полягає у отриманні рекомендацій та оптимальних параметрів для ефективного вирощування рослин.

Розробник системи має цілі щодо реалізації та підтримки системи, забезпечення її функціональності та ефективності. Його діяльність включає розробку інноваційних функцій, надійності та зручності використання системи.

Користувачі системи спрямовують свої цілі на отримання даних для досліджень та вивчення впливу різних умов на ріст рослин. Їхній інтерес полягає в наданні можливості збору даних для аналізу та досліджень.

Постачальники датчиків та обладнання мають за цілі популяризацію свого обладнання та підвищення продажів. Їхній інтерес полягає в використанні їхнього обладнання в системі моніторингу мікроклімату.

Ці стейкхолдери відіграють важливу роль у проектуванні системи, оскільки їхні потреби та очікування можуть вплинути на архітектуру та функціональність системи моніторингу мікроклімату в теплиці.

2 АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ

2.1 Атрибути якості

Атрибути якості - це характеристики або властивості продукту чи системи, які визначають їхню загальну якість, ефективність та корисність для користувачів [18]. Для розроблюваної системи атрибути якості є наступними:

- надійність. Забезпечення стабільної та безперебійної роботи системи протягом тривалого періоду часу без відмов;
- точність вимірювань. Здатність датчиків точно вимірювати параметри мікроклімату з максимальною точністю;
- автоматизація. Можливість системи автоматично регулювати параметри мікроклімату відповідно до заданих параметрів без необхідності в постійному контролі;
- зручність інтерфейсу. Простий і зрозумілий веб-інтерфейс для користувачів для управління мікрокліматом у теплиці;
- енергоефективність. Ефективне використання енергії та ресурсів для забезпечення роботи системи без зайвих витрат;
- масштабованість. Здатність системи розширюватися, додавати нові датчики чи пристрої управління в разі потреби;
- безпека даних. Захист зібраних даних про мікроклімат від несанкціонованого доступу та збереження конфіденційності;
- сумісність та гнучкість. Забезпечення можливості інтеграції системи з різними типами датчиків та іншими пристроями;
- довговічність. Система має бути стійкою до зносу та здатною працювати протягом тривалого часу без втрати функціональності.

2.2 Вибір та обґрунтування структурної схеми

Ефективна робота усіх компонентів системи, таких як датчики, мікроконтролер, виконавчі пристрої та інші електронні модулі, залежить від

стабільності електроживлення. Перерви у живленні можуть спричинити аварійне вимкнення системи, втрату даних або пошкодження електронних компонентів. Це особливо важливо у випадку системи контролю теплиці, де стабільність та неперервність функціонування є ключовими факторами для успішного вирощування рослин. Тому введення блока живлення є доцільним кроком для забезпечення стабільної роботи системи та запобігання виникненню проблем через можливі відмови у електропостачанні.

Система повинна мати можливість моніторингу та контролю параметрів, які безпосередньо впливають на ріст і розвиток рослин. Зібрана інформація, дозволить в реальному часі аналізувати умови теплиці та при необхідності автоматично втручатися для створення оптимального мікроклімату. Такий підхід дозволяє досягти оптимальних умов для росту і плодоношення рослин, що є основною метою системи контролю теплиці. Для цього в схему доцільно ввести блок датчиків.

Температура повітря є важливим критерієм для вирощування рослин в теплиці. Неприятні температурні умови повітря в теплиці можуть негативно вплинути на ріст та розвиток рослин. Відхилення від оптимального діапазону температур може призвести до наступних проблем:

- низькі температури можуть призвести до зупинки росту рослин або уповільнення їх розвитку;
- нестабільні температури, можуть сприяти поширенню хвороб та шкідників;
- температурні стреси можуть вплинути на цвітіння, збільшити кількість пустот у плодах або призвести до зниження урожайності;
- екстремальні температури можуть спричинити деформацію рослинних тканин, яка впливає на здоров'я рослин та їх здатність до фотосинтезу.

Для того, щоб відслідковувати поточний рівень температури повітря в теплиці, в схему необхідно ввести датчик температури повітря.

Температура ґрунту також може впливати на ріст і розвиток рослин. Відхилення від оптимальної температури може призвести до наступних

проблем:

- низькі температури ґрунту можуть призвести до зупинки росту коренів, що ускладнює поглинання води та поживних речовин рослинами - це може уповільнити ріст рослин в цілому;

- надмірно холодний ґрунт може призвести до стресу для рослин, що зробить їх більш вразливими до захворювань та шкідників;

- низька температура може призвести до порушення процесів гідрології ґрунту, що впливає на доступність води та поживних речовин для рослин.

Зависока температура ґрунту також може мати негативний вплив, зокрема призводити до пересушення ґрунту та погіршення його структури [19]. Для того, щоб відслідковувати поточний рівень температури ґрунту в теплиці, в схему необхідно ввести датчик температури ґрунту.

Відслідковування вологості повітря є важливим фактором для здоров'я і росту рослин у теплиці. Високий рівень вологи повітря може призвести до:

- розвитку грибкових захворювань і шкідників;
- зменшення фотосинтетичної активності рослин через утворення конденсату на листках, що може ускладнити обмін газів.

Низький рівень вологості повітря може призвести до:

- дефіциту води в рослинах, особливо в умовах високих температур, коли випаровування води із листя збільшується;
- зменшення росту рослин, що призведе до засихання листя.

Для того, щоб відслідковувати поточний рівень вологості повітря в теплиці, в схему необхідно ввести датчик вологості повітря.

Вологість ґрунту є ключовим фактором для росту і розвитку рослин. Оптимальна вологість дозволяє рослинам в достатній мірі поглинати воду та поживні речовини з ґрунту. Оптимальний рівень вологості залежить від типу ґрунту, типу рослин та конкретних умов вирощування. Деякі рослини можуть бути більш адаптовані до вологішого або сухішого середовища.

Занадто висока вологість може призвести до проблем з провітрюванням ґрунту, що може стати причиною гнилення кореневої системи рослин або

розвитку грибкових захворювань. Також може заважати розвитку коренів і ускладнювати їх доступ до кисню та поживних речовин.

Недостатня вологість може призвести до дефіциту води для рослин, особливо в періоди спекотної погоди, що може призвести до засихання рослин та стресу для них. Також може сповільнити поглинання поживних речовин корінням рослин, що може вплинути на їхній розвиток [20]. Для того, щоб відслідковувати поточний рівень вологості ґрунту в теплиці, в схему необхідно ввести датчик вологості ґрунту.

Рівень CO₂ (діоксиду вуглецю) є важливим фактором для здоров'я рослин у теплиці. Рослини використовують CO₂ для фотосинтезу, тобто процесу, за якого вони здійснюють перетворення світлової енергії на органічні речовини, необхідні для їхнього росту та розвитку.

Низький рівень CO₂ може обмежити швидкість фотосинтезу рослин, що впливає на їхній ріст та врожайність.

Оптимальний рівень CO₂ сприяє активному фотосинтезу та сприяє збільшенню росту рослин, що дозволяє збільшити врожайність [21]. Для того, щоб відслідковувати поточний рівень вуглекислого газу в теплиці, в схему необхідно ввести датчик CO₂.

Світло в теплиці є одним з найважливіших факторів для росту та розвитку рослин. Фотосинтез - процес, за якого рослини перетворюють світлову енергію на органічні речовини, необхідні для життєдіяльності культур. Ключовими аспектами світла в теплиці є інтенсивність, спектр та тривалість [22]. Для того, щоб відслідковувати поточний рівень інтенсивності світла, в схему необхідно ввести датчик світла.

Забезпечення автоматизації та реакції системи на отримані від датчиків дані задля створення оптимальних умов середовища для росту рослин є невід'ємним елементом «розумної теплиці», тому було прийнято рішення ввести в схему блок виконавчих пристроїв.

Нагрівання та охолодження є важливою частиною в системі теплиці, відповідальною за підтримку визначених температурних умов росту рослин.

Для регулювання температури в теплиці, в схему доцільно ввести блок нагрівач та охолоджувач для повітря і для ґрунту.

Подача води є ключовою частиною системи. Цей блок відповідає за постачання води до рослин, забезпечуючи їм необхідну кількість вологи для нормального росту та розвитку. Для регулювання вологості ґрунту в теплиці, в схему доцільно ввести джерело води.

Провітрювання є невід'ємною частиною кожної теплиці. Цей блок допомагає контролювати температуру, вологість та рівень вуглекислого газу всередині теплиці. Відсутність вентиляції може призвести до перегріву теплиці в теплу пору року, надмірної конденсації у холодний період або накопичення шкідливих газів, таких як вуглекислий газ. Недостатня вентиляція також може сприяти поширенню хвороб та появі плісняви. Для регулювання вологості та рівня CO₂ в теплиці, в схему доцільно ввести вентилятор.

Підвищення рівня вологості в засушливий період є важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин. Для збільшення рівня вологості в теплиці, в схему доцільно ввести зволожувач.

Теплиця в спекотний період постійно піддається активному сонячному впливу, що може призвести до перегріву теплиці, або негативно впливати на ріст рослин. Для регулювання кількості світла, що потрапляє до теплиці в схему доцільно ввести зашторювач.

Розроблювана система, орієнтована на автоматичне та інтелектуальне керування мікрокліматом, вимагає комплексного підходу, який включає апаратні та програмні компоненти, а також оператора, відповідального за управління різними процесами. Ця система повинна мати змогу автоматизувати процес програмування, збирання, аналізу та обробки інформації, а також керування обміном даними між компонентами. Для цього в схему включено мікропроцесорний блок.

Для можливості віддаленого керування, моніторингу, збору та аналізу даних з різних пристроїв, забезпеченні зручності, швидкості обміну даними в

схему необхідно ввести Wi-Fi модуль.

Розроблену структурну схему пристрою наведено на рисунку 2.1.

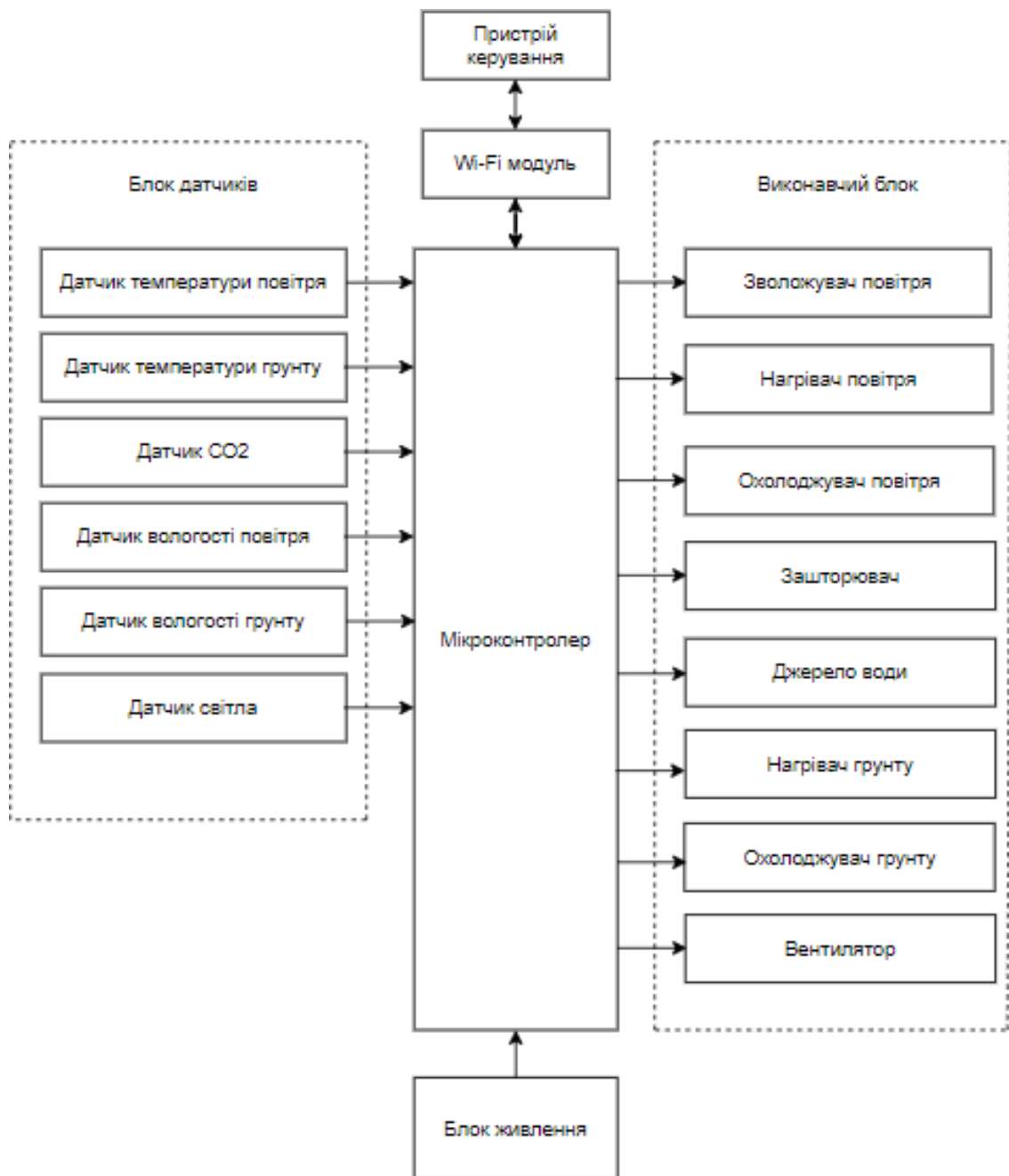


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

2.3 Визначення параметрів мікроклімату для вирощування рослин

Визначення необхідних параметрів мікроклімату для вирощування рослин є ключовим завданням при проектуванні системи теплиці. Оскільки

кожна культура має свої певні особливості вирощування, неможливо виділити певний стандарт якості для всіх рослин, тому для найбільш популярних видів були визначені необхідні умови вирощування. Враховуючи характеристики кожної конкретної культури, була створена таблиця 2.1 з рекомендаціями щодо оптимальних діапазонів температури, відносної вологості та освітленості для кожної з них [22].

Таблиця 2.1 - Умови вирощування рослин

Назва	Температура повітря, °С	Температура ґрунту, °С	Вологість повітря, %	Вологість ґрунту, %	Рівень CO ₂ , ppm	Освітленість, тис. lx
Томат	+18...+30	+15...+24	60...70	70...80	400...800	10...40
Огірки	+20...+32	+18...+25	70...80	70...80	400...800	12...20
Перець	+18...+32	+16...+29	60...70	70...80	400...800	12...20
Салат	+15...+20	+15...+20	50..70	50...70	300...800	10...15

З таблиці 2.1 визначено, в яких діапазонах автоматизована система керування мікрокліматом теплиці повинна забезпечувати підтримку показників.

Система повинна підтримувати діапазон температури повітря від +15°C до +32°C, температура ґрунту від +15°C до +29°C.

Щодо вологості, то система повинна має проводити вимірювання та забезпечувати підтримку показників відносної вологості від 50% до 80% для повітря і для ґрунту.

Оптимальний рівент CO₂ системою повинен підтримуватись в діапазоні від 300ppm до 800ppm.

Рівень освітленості має задовольняти потреби в діапазоні від 10000 люкс до 40000 люкс.

Згідно з наведених вимог до вирощування рослин потрібно обрати елементну базу для системи, здатну вимірювати та підтримувати мікрокліматичні показники в заданих діапазонах.

2.4 Архітектурні підходи до вибору датчиків

2.4.1 Архітектурний підхід до вибору датчика температури повітря

Для вибору датчика температури повітря необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Враховуючи те, що вирощування рослин буде здійснюватись у весняно-осінній період, сенсор повинен вимірювати температуру від 0°C до 50°C, точність вимірювань має складати $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Датчик повинен бути стійким до умов середовища теплиці і працювати не втрачаючи точності. Сенсор повинен бути інтегрований з Arduino та мати стабільність у вимірюванні температури протягом тривалого часу.

Існує кілька типів датчиків температури, кожен з яких має свої переваги та застосування в різних умовах:

- термоелектричні;
- терморезистивні;
- напівпровідникові;
- акустичні.

Принцип роботи термоелектричного датчика полягає в вимірюванні змін електричної напруги, що виникає внаслідок температурної різниці між його елементами. Датчики складаються з пари провідників, таких як біметалеві стрічки або термоелементи, з'єднаних в контур. Коли одна частина сенсора потрапляє в зону зміни температури, виникає термоелектрична напруга, яку можна вимірювати та інтерпретувати як значення температури.

Термоелектричні датчики температури універсальні та стійкі до різних умов середовища. Їх проста будова сприяє зручності в експлуатації, а відносна чутливість дозволяє вимірювати навіть невеликі температурні зміни. Однак точність цих датчиків може бути меншою, ніж у інших видів, що обмежує їх використання у вимогливих ситуаціях до високої точності.

Принцип роботи терморезистивних датчиків базується на зміні

електричного опору провідника при зміні температури. Зміна температури впливає на рух частинок в провіднику, змінюючи їх розміщення та взаємодію між ними, що змінює опір провідника. При збільшенні температури опір може збільшуватись або зменшуватись, залежно від типу та характеристик конкретного терморезистора.

Дані датчики є точними у вимірюванні, можуть працювати в широкому діапазоні температур, мають високу стійкість до зносу та довго залишаються стабільними у роботі. Однак вони можуть бути чутливі до впливу електромагнітних полів або статичної електрики.

Принцип роботи напівпровідникових датчиків температури полягає в залежності електричних властивостей напівпровідникових матеріалів від температури. Зміни цих властивостей можна виміряти для визначення температури, до якої підключений датчик.

Напівпровідникові датчики швидко реагують на зміни і працюють у широкому діапазоні температур. Їх компактність робить їх універсальними, але точність може бути нижчою в екстремальних умовах. Вони час від часу можуть вимагати калібрування та є чутливими до електромагнітних перешкод, що впливає на їх стійкість та точність.

Принцип роботи акустичних датчиків полягає в перетворенні звукових хвиль на електричний сигнал. Вони вимірюють звук та перетворюють його на сигнал, який можна аналізувати або використовувати для подальших досліджень.

Датчики володіють високою чутливістю до звукових хвиль, однак вони чутливі до зовнішніх шумів та впливу середовища, мають обмежену точність у вимірюваннях, особливо у складних умовах і мають потребу у періодичному калібруванні для забезпечення точних результатів [23].

Для порівняльного аналізу обрано цифрові датчики виміру температури (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Типи датчиків та їх параметри

Назва	Дозвільна здатність, біт	Похибка, $\pm^{\circ}\text{C}$	Інтерфейс	V_{CC} , В	I_{CC} , мА	T_A , $^{\circ}\text{C}$
AD731	10	2	SPI	2.65...5.5	1	-35...85
AT30TS00	11	1	I ² C	2.7...3.6	0.2	-20...125
DS18B20	12	0.5	1-Wire	3.3...5.5	1	-55...100
MAX6581	11	1	I ² C	3...3.6	0.5	-40...125
TC72	10	3	SPI	2.65...5.5	0.25	-55...125
MCP9800	13	3	I ² C	2.7...5.5	0.02	-55...125
TC74	10	2	I ² C	2.7...5.5	0.35	0...125

Огляд та аналіз датчиків температури показав доцільним в розроблюваній системі застосувати терморезистивний датчик типу DS18B20 [24].

Сенсор вимірює температуру в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що є достатнім для всіх видів рослин. Має точність $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ та $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що відповідає вимогам проекту. DS18B20 підтримує інтерфейс OneWire, що дозволяє забезпечити підключення до Arduino.

2.4.2 Архітектурний підхід до вибору датчика CO₂

Для вибору датчика виміру CO₂ необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Сенсор повинен вимірювати рівень CO₂ від 300 ppm до 800 ppm. Точність вимірювання має складати не менше ніж $\pm(100+6\%)$ ppm. Датчик вуглекислого газу повинен бути сумісний з Arduino і стабільно працювати в умовах високої вологості та температур.

До найбільш поширених методів вимірювання концентрації рівня CO₂ відносяться:

- оптичний;
- термокундуктометричний;
- електрохімічний;

– напівпровідниковий.

Оптичний метод використовує властивості світла для вимірювання концентрації вуглекислого газу. Він проводиться через аналіз поглинання або пропускання світла через зразок з CO₂.

Оптичний метод забезпечує високу точність, але вразливий до зовнішніх факторів, таких як освітлення або туман.

Термокундоктометричний метод базується на вимірюванні зміни теплопровідності зразка, залежно від його концентрації CO₂.

Він має високу чутливість та може здійснювати вимірювання при різних температурних умовах, але є складним у практичному застосуванні.

Електрохімічний метод використовує вимірювання електричної провідності CO₂ за допомогою електродів. Цей метод має високу точність, але вимагає стабільних умов для роботи та є вразливим до забруднення електродів.

Принцип роботи напівпровідникового методу виміру рівня CO₂ базується на зміні електричних властивостей напівпровідникового матеріалу при взаємодії з молекулами вуглекислого газу. Поверхню напівпровідника функціоналізують так, щоб вона взаємодіяла з CO₂, викликаючи зміни в електричних параметрах, таких як опір чи провідність. Ці зміни фіксуються за допомогою спеціальних датчиків чи інших електричних засобів. Калібрування і аналіз отриманих даних дозволяють визначити концентрацію CO₂ в атмосфері.

Цей метод відрізняється високою чутливістю та швидкістю відгуку, що робить його ефективним інструментом для моніторингу забруднення атмосфери CO₂ [25].

Для порівняльного аналізу обрано найбільш популярні датчики виміру рівня CO₂ (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняльна характеристика датчиків CO₂

Назва	Діапазон вимірів, ppm	Точність, ppm	V _{CC} , В	I _{CC} , мА	Інтерфейс	Час відгуку, с
MH-Z16	0...5000	±(100+6%)	4.5...5.5	85	ШІМ, UART	< 30
MH-Z14	0...5000	±(100+6%)	4.5...5.5	85	Аналоговий, ШІМ, UART	< 90
MH-Z14A	0...10000	±(50+3%)	4.5...5.5	60	Аналоговий, ШІМ, UART	< 120
MH-Z19B	0...5000	±(50+5%)	4.5...5.5	20	Аналоговий, ШІМ, UART	< 120

Огляд та аналіз сенсорів CO₂ показав доцільним в розроблювальному пристрої застосувати датчик типу MH-Z14A [26], який використовує оптичний метод для виміру рівня оксиду вуглецю.

Він має високий рівень точності вимірювань рівня вуглекислого газу, що складає ±(50+5%) ppm. Сенсор має широкий діапазон вимірювання від 0 ppm до 10000 ppm, що дозволяє вимірювати концентрацію газу відповідно до потреб системи. Також MH-Z14A може інтегруватися з Arduino та працювати стабільно в умовах високої вологості та температури теплиці.

2.4.3 Архітектурний підхід до вибору датчика вологості повітря

Для вибору датчика вологості повітря необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Більшість рослин найкраще ростуть при вологості повітря від 50% до 80%, тому датчик вологості має здійснювати виміри відповідно до цього діапазону. Точність вимірювань повинна бути на рівні ±3%. Обраний датчик має бути сумісний з Arduino. Сенсор повинен мати захист від вологи, що забезпечить стабільність та точність вимірювань під впливом вологості та інших умов середовища.

За принципом виміру датчики вологості повітря підрозділяються на:

- ємнісні;
- резистивні;

- термісторні;
- оптичні.

Ємнісні датчики вологості працюють на основі зміни ємності матеріалу при зміні вологості навколишнього середовища. Складаються з пластин, електродів та діелектрика між ними. Збільшення вологості повітря призводить до збільшення діелектричної проникності середовища, що збільшує ємність датчика.

Ємнісні датчики є точні та стабільні, але складні у калібруванні та вимагають певних умов середовища для більш точних результатів.

Резистивні датчики вологості вимірюють рівень вологості за допомогою зміни опору матеріалу, який змінюється в залежності від кількості вологи. Вони в своїй конструкції використовують матеріали, такі як полімери або композити, що здатні поглинати вологу. При збільшенні вологості опір цих матеріалів зменшується, що в свою чергу змінює його електричний опір.

Датчики є дешеві, точні, стабільні та прості у виготовленні, але вони вразливі до забруднень та можуть вимагати періодичного калібрування для точності вимірювань.

Термісторні датчики вологості працюють, використовуючи зміну температури матеріалу, яка виникає при зміні вологості оточуючого середовища.

Перевагами термісторних датчиків вологості є їх широкий діапазон вимірювання та висока чутливість до змін вологості. Проте вони можуть бути схильні до старіння матеріалу з часом, що може призвести до зниження точності вимірювань. Також, вони потребують частого калібрування для забезпечення стабільності та точності вимірювань вологості в тривалій період часу.

Оптичні датчики вологості використовують зміни у властивостях світла, що відбуваються при зміні вологості матеріалів, для вимірювання рівня вологості в середовищі.

Перевагами оптичних датчиків вологості є їх висока точність вимірювань.

Однак вони є чутливими до забруднення та зовнішніх умов [27].

Для порівняльного аналізу обрано найбільш популярні датчики виміру рівня вологості повітря (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Типи датчиків та їх параметри

Назва	Час відгуку, сек	Похибка, \pm RH %	Інтерфейс	V _{CC} , В	I _{CC} , мкА	RH, %
НУТ 939	< 10	1.8	I ² C	2.7...5.5	22	0...100
Si7013	< 18	3	I ² C	1.9...3.6	150	0...100
H25K5	< 60	5	I ² C	1...10	3000	30...90
808H5V5	< 30	6	I ² C	5	1200	0...100
808H5V6	< 50	6	I ² C	3.3	1200	0...100
DHT11	< 1	5	I ² C	3.3...5	2500	20...95
DHT21	< 6	2	I ² C	3.3...5	2500	0...100
DHT22	< 2	2	I ² C	3.3...5	2500	0...100

Огляд та аналіз датчиків вологості повітря показав доцільним в розроблювальному пристрої застосувати датчик типу DHT22 [28], який використовує резистивний метод виміру вологості.

DHT22 має діапазон вимірювання від 0% до 100% і точність $\pm 2\%$, що задовольняє вимоги системи. Даний сенсор є сумісний з Arduino. Також DHT22 є стійким до впливу вологості, що робить його ефективним для використання в теплиці.

2.4.4 Архітектурний підхід до вибору датчика температури ґрунту

Для вибору датчика температури ґрунту необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Датчик має бути повністю сумісним з Arduino. Точність вимірювань повинна складати не менше $\pm 0,5^\circ\text{C}$, діапазон вимірювань від $+10^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$. Необхідно, щоб датчик був стійким до вологості та корозії. Сенсор повинен бути енергоефективним, щоб мінімізувати споживання енергії.

Для порівняльного аналізу обрано найбільш популярні датчики виміру температури ґрунту (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Типи цифрових датчиків та їх параметри

Назва	Діапазон виміру, °C	V _{CC} , В	I _{CC} , мА	Точність, ±°C	Інтерфейс	Дозвільна здатність, біт
DS18B20	-55...+125	3.3...5.5	1	0,5	1-Wire	12
ТВ1132	-40...+85	3.3...5	1	1	1-Wire	8
SHTC3	-40...+125	1.6...3.6	1	0.7	I ² C	14
ТМР102	-40...+125	1.4...3.6	1	0.8	I ² C	12
ТМР36	-40...+85	1.3...3.8	2	0.6	1-Wire	9

Зважаючи на вимоги до датчика температури ґрунту для системи управління теплицею на базі Arduino, датчик DS18B20 є найбільш підходящим варіантом. Даний датчик відповідає вимогам точності вимірювань, яка складає $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що важливо для високоякісного контролю температури ґрунту. Датчик може працювати в умовах високої вологості, оскільки він має герметичний корпус із захистом від вологи на відміну від DS18B20 для виміру температури повітря. Його діапазон вимірювань від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ охоплює всі можливі температурні умови теплиці. Він є сумісний з Arduino та може бути використаний у ґрунті з додатковим захистом від вологи та корозії.

2.4.5 Архітектурний підхід до вибору датчика вологості ґрунту

Для вибору датчика вологості ґрунту необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Датчки повинен забезпечити вимір відносної вологості ґрунту від 50% до 80%, точність вимірювань вологості на рівні $\pm 3\%$. Сенсор повинен бути стійким до умов ґрунту, зокрема до вологості, корозії та можливих змін рівня кислотності. Обраний датчик має відповідати можливостям інтеграції з системою Arduino.

Для порівняльного аналізу обрано найбільш популярні датчики виміру вологості ґрунту (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Типи цифрових датчиків та їх параметри

Назва	Час відгуку, сек	Похибка, $\pm\%$	Інтерфейс	V _{CC} , В	I _{CC} , мкА	Sr, %
Sentek EnviroSCAN	10	3	RS-485	1.8...4.5	1300	0...100
Decagon EC-5	1	3	Аналоговий	3.3...15	2500	0...100
Sensirion SHTC3	1	2	I ² C	2.4...5.5	1800	0...100
Vegetronix VH400	1	3	Аналоговий	2.7...5.5	1700	0...100
Decagon GS3	1	3	I ² C	2.7...5.5	2300	0...100
Acclima TDR-315L	1	3	SDI-12	2.7...5.5	1700	0...100

З огляду на описані вимоги до датчика вологості для системи управління теплицею, ємнісний датчик EnSensir SHTC3 [30] найбільше відповідає вимогам. Він має широкий діапазон вимірювання вологості ґрунту від 0% до 100% та точність вимірювань на рівні $\pm 2\%$. Сенсор також має цифровий інтерфейс, що робить його зручним для інтеграції з мікроконтролерами, такими як Arduino. Він може бути використаний у ґрунті з додатковим захистом від вологи та корозії.

2.4.6 Архітектурний підхід до вибору датчика світла

Для вибору датчика світла необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Діапазон виміру світла повинен задовольняти вимоги від 200 нанометрів до 1000 нанометрів, точність повинна складати $\pm 5\%$. Датчик повинен мати високу стійкість до умов середовища, таких як вологість, температура та пил, що можуть впливати на його роботу. Сенсор повинен бути сумісним з Arduino.

За принципом виміру датчики світла підрозділяються на:

- фотодіоди;
- фототранзистори;
- фоторезистори;
- фотодетектори на основі кремнію.

Фотодіоди - це напівпровідникові пристрої, що генерують електричний струм при попаданні світла на їхню поверхню. Вони вимірюють інтенсивність світла за допомогою заряду, який вони генерують при засвічуванні. Фотодіоди мають високу швидкість реакції, широкий діапазон частот та точне вимірювання світла в умовах низького рівня освітленості. Проте вони є менш чутливі у порівнянні з іншими типами фотосенсорів та мають низький коефіцієнт підсилення сигналу.

Фототранзистори змінюють свою провідність в залежності від інтенсивності світла. Ці датчики відзначаються високою чутливістю, можливістю значного підсилення сигналу та можуть здійснювати виміри в умовах низького рівня освітленості. Проте в них менша швидкість реакції та підвищена схильність до фіксації випадкових сигналів світла.

Фоторезистори міняють опір в залежності від інтенсивності світла. Вони мають просту конструкцію, мають великий діапазон частот роботи та здатні вимірювати широкий спектр інтенсивності світла. Проте вони повільно реагують на зміну освітленості та менш чутливі порівняно з іншими типами фотосенсорів.

Оптоволоконні датчики використовують оптоволокно для передачі світла до датчика та вимірювання параметрів світла, таких як інтенсивність чи час затримки. Вони мають можливість вимірювати віддалені об'єкти, та є стійкими до зовнішніх факторів. Проте ці датчики є складні в монтуванні та обслуговуванні, вимагають спеціального обладнання для роботи.

Фотодетектори використовують кремнієві пластини, які генерують електричний струм при попаданні світла. Вони характеризуються високою чутливістю, точністю вимірювань та є стабільними в роботі протягом тривалого часу. Проте вимагають спеціальних умов зберігання та використання, мають високу вартість у порівнянні з іншими фотосенсорами [31].

Для порівняльного аналізу обрано найбільш популярні датчики виміру світла (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Типи цифрових датчиків та їх параметри

Назва	Діапазон вимірювань, lx	Роздільна здатність, біт	Інтерфейс	V _{CC} , В	Похибка, %
TSL2591	188...88000	16	I ² C	3...5	3
BH1750FVI	1... 65535	12	I ² C	2.4...3.6	2
OPT3001	1... 83000	23	I ² C	1.6...2.4	4
VEMML6030	1... 167000	16	I ² C	2.4...3.6	5

В якості датчика освітлення було обрано сенсор BH1750FVI [32]. Він має широкий діапазоном вимірювань від 1 люкс до 65535 люкс та точність $\pm 2\%$, що задовольняє вимоги системи. Інтерфейс I²C робить можливим його інтеграцію з платформою Arduino.

2.5 Архітектурні підходи до вибору виконавчих пристроїв

2.5.1 Архітектурний підхід до вибору вентилятора

Для вибору вентилятора необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

З розрахунку на те, що теплиця може бути розташована близько до місць відпочинку або приміщень, шум вентилятора не повинен перевищувати 60-65 децибел. Так як теплиця має розміри 20 м², для достатнього повітрообміну продуктивність вентилятора має складати близьк 3360 кубічних метрів повітря на годину . Пристрій має бути енергоефективним і з можливістю регулювання швидкості обертання. Система вентиляції повинна бути сумісною з іншими системами управління та бути стійкою до умов середовища.

У теплицях можуть використовуватись наступні типи вентиляторів:

- осьові;
- радіальні;
- міксери;
- каналні.

Осьові вентилятори мають лопаті, що рухають повітря вздовж осі, забезпечуючи ефективний потік у одному напрямку. Вони компактні та прості у встановленні, але не володіють ефективністю для роботи з великими обсягами повітря.

Радіальні вентилятори використовують електродвигун приводить в рух вентиляторну робочу частину (ротор), що створює обертовий рух. Це змушує повітря рухатися від центру вентилятора до його країв через спеціальні канали або лопаті. Дані системи є потужні та ефективні для роботи з великими обсягами повітря, але є масивними та вимагають багато місця для установки.

Вентилятори змішування (міксери) складаються зі спеціально розташованих лопатей, котрі обертаються завдяки електродвигуну або іншому джерелу енергії. Ці лопаті викликають переміщення повітря, яке змушує його переміщатися рівномірно і швидко через приміщення. Ці вентилятори ефективно працюють з великими обсягами повітря та рівномірно розподіляють повітря по всьому приміщенні, але споживати багато енергії та мають високий рівень шуму. Також вони потребують регулярного обслуговування для забезпечення найкращої продуктивності.

Канальні вентилятори, використовуються для інтеграції в системи вентиляції через труби або канали. Вони використовують осьовий або центробежний принцип для переміщення повітря вздовж трубопроводів, забезпечуючи потік повітря у визначеному напрямку. Основними перевагами є ефективний потік повітря у визначеному напрямку, інтеграція в системи вентиляції та заощадження місця в приміщенні. Серед недоліків варто виділити підвищене шумове навантаження, потребу у регулярному обслуговуванні, велике споживання енергії [33].

Для порівняльного аналізу обрано вентилятори фірми «Турбовент Сігма» (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 – Порівняльна характеристика промислових вентиляторів «Турбовент Сігма»

Модель	Продуктивність, м ³ /г	Напруга мережі, В	Потужність, Вт	Рівень шуму, дБ
250 В/S	1360	220	100	60
300 В/S	2000	220	125	60
400 В/S	3900	220	180	65
500 В/S	7000	220	420	72
710 В/S	15800	380	1100	79

Для системи було обрано осьовий вентилятор 400 В/S [34]. Його продуктивність складає 3900, м³/г, потужність 180 Вт, рівень шуму 65 дБ. Він має вологозахист, є енергоефективним та може регулювати швидкість обертів, що задовольняє вимоги системи. Також вентилятор може бути інтегрований з Arduino.

2.5.2 Архітектурний підхід до вибору зволожувача

Для вибору зволожувача необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам проекту.

Зволожувач повинен забезпечувати рівномірне розподілення вологи по всій теплиці, щоб уникнути пересихання або перезволоження окремих зон. Пристрій має забезпечити необхідний рівень вологості в 80% для рослин, але при цьому повинен бути енергоефективним для зменшення споживання електроенергії. Рівень шуму під час роботи не повинен перевищувати 65 дБ. Зволожувач має бути сумісним з іншими системами управління та бути стійким до умов середовища.

Існує кілька основних типів зволожувачів:

- ультразвукові;
- теплові;
- ультразвуково-теплові.

Ультразвукові зволожувачі використовують ультразвукові вібрації, щоб

розбивати воду на дрібні краплі туману, які потім розпилюються у приміщенні. Вони забезпечують рівномірне розподілення вологи, працюють тихо та не нагрівають воду, але вимагають ретельного обслуговування.

Теплові зволожувачі нагрівають воду до точки кипіння, створюючи пару, яка потім видається у теплицю. Вони ефективні в підтриманні вологості та можуть використовуватися в холодні періоди. Проте вони мають високі витрати енергії та обмежений радіус дії.

Ультразвуково-теплові зволожувачі поєднують ультразвукову та теплову технології для створення туману з води. Вони комбінують переваги обох типів, проте вимагають ретельного обслуговування та можуть витратити багато енергії [35].

Для порівняння було обрано зволожувачі фірми «Dantex» (таблиця 2.9).

Таблиця 2.9 – Порівняльна характеристика зволожувачів

Назва	Номінальна інтенсивність зволоження, мл/г	Об'єм бака, л	Площа, м ²	Потужність, Вт	Рівень шуму, дБ
D-H30AW	350	3	30	30	40
D-H30UG	200	3	25	25	35
D-H35UCF	250	3.5	27	25	45
D-H40NPG	400	4	35	35	50
D-H45NPR	500	6	50	40	60

Для системи було обрано ультразвуковий зволожувач D-H35UCF [36]. Його номінальна інтенсивність зволоження складає 250 мл/г, що дозволить підтримувати потрібний рівень вологості у 80%. Він є енергоефективним, його потужність складає 25Вт, рівень шуму 45дБ, що задовольняє вимоги системи. Також зволожувач може бути інтегрована з Arduino.

2.5.3 Архітектурний підхід до вибору кондиціонера

Для вибору нагрівача необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам системи.

Нагрівач повинен бути з потужністю близько 2-3 кВт для забезпечення стабільної температури повітря у теплиці від +15°C до +32°C. Нагрівач має

відповідати нормам безпеки, мати стійкість до вологи, змін температур, захист від пилу та бруду. Прилад повинен мати низький рівень шуму під час роботи, до 65 дБ. Система обігріву повинна бути сумісною з іншими системами управління теплицею і не вимагати значних витрат на обслуговування чи ремонт.

Існує декілька типів нагрівачів, кожен з яких має свої принципи роботи, переваги та недоліки:

- електричні;
- газові нагрівачі;
- біопаливні;
- геотермальні.

Електричні нагрівачі працюють через опір електричного струму. Вони прості у встановленні, але мають високі витрати енергії.

Газові нагрівачі використовують природний газ або пропан для нагріву. Вони ефективні та економічні, але потребують інфраструктури для газопостачання.

Біопаливні нагрівачі використовують деревину або пелети, що є екологічно чистими матеріалами, але потребують регулярного поповнення палива і постійного залучення людських ресурсів.

Для порівняння було обрано електричні нагрівачі фірми «Carrier» (таблиця 2.10).

Таблиця 2.10 – Порівняльна характеристика нагрівачів

Назва	Продуктивність обігріву, кВт	Продуктивність охолодження, кВт	V _{CC} , В	Споживана потужність, кВт	Рівень шуму, дБ
30AW004	3.9	3.6	220	1,13	45
30AW006	5.8	5.3	220	1,6	40
30AW012-3Ph	12.9	11.2	220	3,46	70
30AW015-3Ph	14	12	220	4,47	90
30AW17-3Ph	17	15	220	6.7	110
30AW020-3Ph	19	17	220	7.8	120
30AW008	7.4	6.9	220	1,97	65

Для системи було обрано електричний нагрівач 30AW004 [6]. Його продуктивність складає 3.9 кВт, що дозволить підтримувати рівень тепла від

+15°C до +32°C. Він є енергоефективним, його потужність складає 1,13 кВт, рівень шуму 45дБ, що задовольняє вимоги системи. Також пристрій може бути інтегрований з Arduino.

2.5.4 Архітектурний підхід до вибору системи подачі води

Для вибору системи подачі води необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам системи.

Система має бути високоефективною у використанні води, забезпечувати рівномірне та цілеспрямоване зволоження рослин. Вона повинна мати можливість регулювання потоку води для кожної крапельниці або зони поливу, забезпечуючи точне дозування води для кожного вирощеного рослинного матеріалу. Система подачі води повинна бути сумісною з іншими системами управління теплицею.

Існують різноманітні методи систем подачі води для теплиць:

- крапельний полив;
- зрошення;
- аеропоніка;
- гідропоніка.

Крапельний полив - це метод постачання води, де вода подається повільно та поступово через крапельниці або систему трубок, розташованих біля рослин чи поруч з їх кореневою зоною. Перевагою методу є ефективне використання води, мінімізація забруднення та точному контролю над подачею води. Однак система вимагає регулярного обслуговування для запобігання засміченню крапельниць та може бути чутливою до помилок в розміщенні, що може призвести до нерівномірного поливу.

Зрошення - це метод постачання води, що використовує форсунки або дифузори для розподілу води по площі теплиці. Основна перевага полягає у можливості однорідного зрошення на великій площі. Втім, використання даного методу призводить до втрати значної кількості води. При поганому

контролі може призвести до забруднення листя і навколишнього середовища [7].

Оскільки вирощування рослин буде здійснюватись в теплиці площею 20 м² і система розрахована на ергономічне використання ресурсів, кращим варіантом буде використання системи крапельного поливу. Цей метод забезпечить точне дозування води для кожної рослини, сприяє збереженню води і забезпечить рівномірне зволоження ґрунту, що є важливим для здоров'я та росту рослин.

Конструкція буде включати шланг, форсунки та електронний регулятор тиску. Подача води буде здійснюватись від центрального водопроводу. Керування подачею води до рослин буде здійснюватись через Arduino по заздалегідь запланованому сценарію.

2.5.5 Архітектурний підхід до вибору системи зашторювання

Для вибору системи зашторювання необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам системи.

Система зашторювання повинна бути автоматизованою, здатною регулювати затінення та освітленість відповідно до зміни погодних умов та потреб рослин від 10000 люкс до 40000 люкс. Система зашторювання повинна бути сумісною з Ардуіно.

На сьогодні сьогоднішній день використовують різні типи системи зашторювання:

- горизонтальні системи зашторювання;
- енергозберігаючі екрани;
- екрани для затінення;
- вертикальні системи зашторювання.

Горизонтальні системи зашторювання розташовані вертикально відносно теплиці і можуть рухатися, змінюючи кут нахилу ламелей для регулювання світлового потоку.

Енергозберігаючі екрани використовують спеціальні матеріали, що

мають властивості для відбивання, поглинання або розсіювання світла та тепла і розміщені горизонтально або вертикально, для регулювання проникнення світла та тепла в теплицю.

Екрани для затінення розташовані над теплицею і можуть опускатися або підніматися, щоб затемнювати або допускати більше світла.

Вертикальні системи зашторювання можуть складатися з вертикальних смуг тканини або плівки, які переміщуються вздовж теплиці для регулювання освітлення [8].

Для системи було обрано горизонтальну систему зашторювання. Вона дозволяє забезпечити рівномірний розподіл світла по всій території теплиці, дозволяючи кожній рослині отримати необхідну кількість світла для здорового зросту.

Горизонтальна система зашторювання для теплиці буде включати в себе каркас на якому будуть розміщені ламелі або матеріали для зашторювання. Також електромотор буде сумісний з ардуіно, що дозволить переміщувати ламелі вгору або вниз по заздалегіть запрограмованому сценарію для контролю освітлення.

2.5.6 Архітектурний підхід до вибору терморегулятора ґрунту

Для вибору системи зашторювання необхідно врахувати кілька ключових аспектів, що відповідають вимогам системи.

Терморегулятор ґрунту повинен бути достатньої потужності для забезпечення стабільної температури від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+29^{\circ}\text{C}$. Пристрій має відповідати нормам безпеки, мати стійкість до вологи, змін температур, захист від пилу та бруду. Прилад повинен мати низький рівень шуму під час роботи, до 65 дБ. Система обігріву повинна бути сумісною з іншими системами управління теплицею і не вимагати значних витрат на обслуговування чи ремонт.

Існують різні методи регулювання температури ґрунту в теплиці:

- мульчування;

- геотермальні системи;
- теплові насоси;
- терморегуляційні мати.

Мульчування — це метод, який включає в себе покриття поверхні ґрунту органічними або неорганічними матеріалами. Принцип роботи мульчі полягає в тому, що шар матеріалу, розташований навколо рослин чи на всій площі теплиці, служить бар'єром для втрати тепла та вологи.

Переваги мульчування включають збереження тепла, зменшення випаровування вологи, запобігання росту бур'янів та покращення ґрунтової структури.

Недоліки мульчування включають вартість та процес установки, можливість виникнення грибкових захворювань, вплив на температуру весняного ґрунту та можливість приваблювання гризунів та шкідників.

Теплові насоси — це метод регулювання температури ґрунту в теплиці, який використовує принцип перенесення тепла з одного місця до іншого. Тепловий насос взаємодіє з довкіллям, взята звідти тепла енергія трансформується та передається для обігріву теплиці.

Переваги теплових насосів включають ефективність використання енергії, низькі витрати на обслуговування та довгий термін служби.

Недоліки теплових насосів включають високі витрати на встановлення, обмежену ефективність при дуже низьких температурах та потребу в електроенергії для їхньої роботи.

Терморегуляційні мати представляють собою елементи, обладнані системами електрообігріву та використовуються для точного контролю тепла, що надходить до ґрунту в різних зонах теплиці. Розташовані під рівнем ґрунту, вони підключаються до термостата, що забезпечує автоматичне регулювання температури.

Переваги терморегуляційних матів включають можливість точного програмування термостата, локальне обігрівання окремих ділянок теплиці, енергоефективність та захист рослин від низьких температур. Серед недоліків

варто зазначити вартість встановлення, залежність від електропостачання, можливість перегріву та різниця в температурі між зонами [9].

Для цілей ситеми було обрано геотермальний тепловий насос RAY-10WW. Він має потужність 10 кВт на обігрів та 9.2 кВт на охолодження, що дозволяє підтримувати температуру в діапазоні від +15°C до +29°C. Глибина занурення зонда складає 100 метрів. Рівень шуму складає 50 дБ, що задовольняє вимоги системи. Також пристрій може бути інтегрований з Arduino.

2.6 Архітектурний підхід до вибору блока керування

При виборі блока керування для теплиці потрібно враховувати кілька ключових аспектів. Блок керування повинен бути сумісним з іншими компонентами системи, такими як датчики, та виконавчі механізми, для ефективної і спільної роботи. Функціональність і можливості програмування блока керування є ключовими факторами, тому він повинен бути гнучким для різних сценаріїв та управління різними системами відповідно до специфічних потреб теплиці. Надійність та стійкість є також важливими аспектом, тому блок керування має бути від відомих виробників, які гарантують стабільну роботу системи протягом тривалого часу. Також він повинен мати можливість розширення функціоналу для адаптації до майбутніх потреб. Блок керування повинен мати наявність зручного інтерфейсу користувача та моніторингу системи для комфортного використання та налагодження параметрів роботи.

Для порівняння можемо розглянути декілька популярних пристроїв керування, а саме: Arduino Uno, ESP8266 та ESP32.

Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. Основні параметри:

- швидкість процесора: 16 МГц;
- оперативна пам'ять: 2 КБ;

- флеш-пам'ять: 32 КБ;
- SRAM: 2048 b;
- EEPROM: 1024 b;
- робоча напруга: 5 В;
- вхідна напруга: 7...12 В;
- сила струму на входах/виходах: 40 mA;
- інтерфейси: USB, GPIO (14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть бути використані для шиною PWM), аналогові входи (6), UART, I2C, SPI.

ESP8266 - це мікроконтролер компанії Espressif, який має вбудований Wi-Fi-модуль.

Основні параметри:

- напруга живлення: 3,3 В;
- енергоспоживання: 10 мкА ... 170 mA;
- процесор: Tensilica L106, 32 bit;
- швидкість процесора: 80...160 MHz;
- Оперативна пам'ять: 80 КБ;
- Флеш-пам'ять: 512 КБ...16 МБ;
- Інтерфейси: USB, GPIO (17 цифрових входів/виходів), UART, SPI, I2C, Wi-Fi.

ESP32 - це мікроконтролер компанії Espressif, який має вбудований Wi-Fi-модуль та Bluetooth. Має більше ресурсів (пам'ять, швидкість) порівняно з ESP8266.

- дво- або одноядерний 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa LXb;
- максимальний струм споживання 260 mA, в сплячому режимі – 10 mA
- швидкість процесора: До 240 МГц.
- оперативна пам'ять: 520 КБ.
- флеш-пам'ять: 4 МБ...16 МБ.
- інтерфейси: USB, GPIO (близько 36 цифрових входів/виходів), UART,

SPI, I2C, Wi-Fi, Bluetooth.

- SRAM: 520 Kb;
- тактова частота: 160 або 240 MHz;
- наявність датчиків температури, Хола, тач-сенсорів;
- інфрачервоне дистанційне керування;
- шифрування флеш диска.

Кожен з цих пристроїв має свої переваги та недоліки. Arduino Uno — простий та добре підходить для початківців. ESP8266 та ESP32 мають вбудований Wi-Fi та більше ресурсів, що робить їх відмінними для проектів IoT.

ESP32 є кращим вибором для блока керування теплицею через свою універсальність, гнучкість і відмінні можливості програмування. Він має широкий спектр вбудованих інтерфейсів, що дозволяє йому легко співпрацювати з різними типами датчиків та виконавчими механізмами.

ESP32 відомий своєю високою продуктивністю, що робить його гнучким у роботі з різними сценаріями управління системами теплиці. Вбудована Wi-Fi та Bluetooth підтримка розширюють можливості бездротового зв'язку та співпраці з іншими пристроями у мережі.

ESP32 є надійним і стійким пристроєм, підтримуваним відомими виробниками, які забезпечують стабільну роботу системи протягом тривалого часу. Його можливості розширення функціоналу дозволяють адаптувати його до майбутніх потреб, що робить його придатним для розвитку та змін у системі теплиці з часом.

Наявність зручного інтерфейсу користувача та можливість моніторингу системи дозволяють забезпечити комфортне використання та налагодження параметрів роботи системи теплиці. Усі ці характеристики ESP32 роблять його потужним і гнучким блоком керування, який відповідає вказаним вимогам для ефективного та надійного управління теплицею.

2.7 Схема підключення обраних елементів

Для демонстрації роботи пристрою на макеті було обрано датчик температури та вологості DHT11, дтчик газу MQ-135, два RGB світодіоди, які будуть імітувати роботу виконавчих пристроїв (нагрівач, охолоджувач, зволожувач, вентилятор) та мікроконтролер ESP8266 NodeMCU V3. Схема підключення обраних елементів зображена на рисунку 2.2.

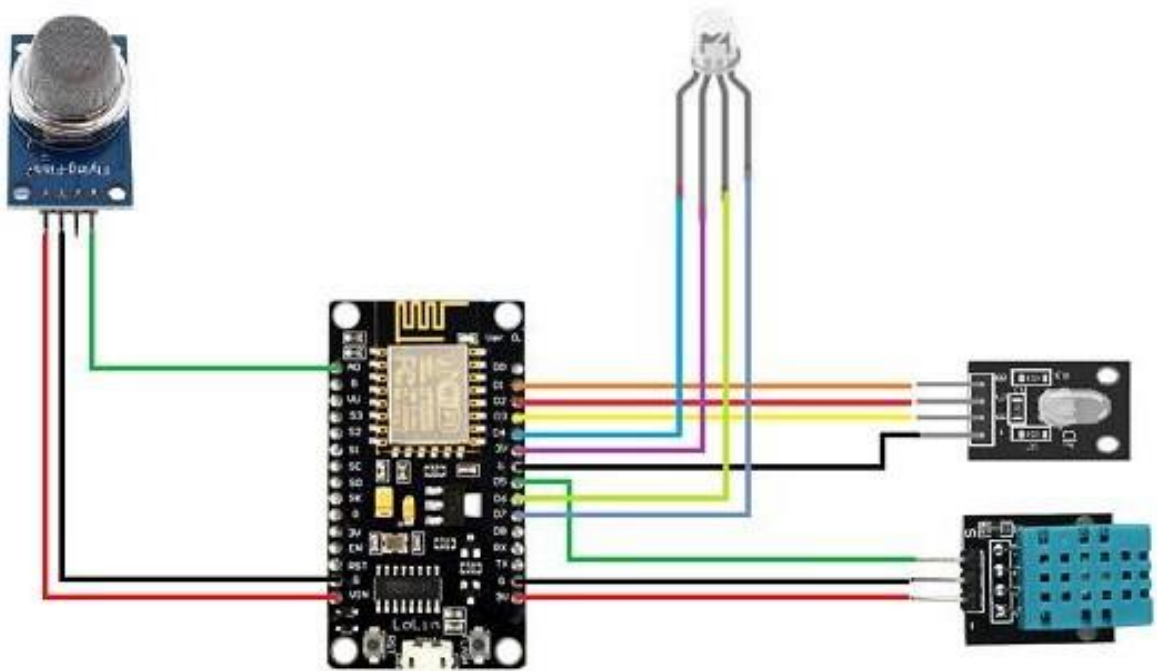


Рисунок 2.2 – Схема підключення обраних елементів

2.8 Алгоритм роботи пристрою

Пристрій обладнано комплектом сенсорів, які реєструють виміри та фіксують їх у змінну, визначаючи температуру повітря ($T_{п}$), вологість повітря ($H_{п}$), концентрацію вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері, температуру ґрунту ($T_{г}$), вимір рівня освітленості (L) та рівень вологості ґрунту ($W_{г}$).

Розроблений алгоритм можна умовно розглядати як сукупність семи блоків:

- блок встановлення початкових параметрів;

- блок контролю температурного режиму повітря;
- блок контролю температурного режиму ґрунту;
- блок контролю вологості повітря;
- блок контролю вологості ґрунту;
- блок контролю концентрації вуглекислого газу в атмосфері;
- блок контролю рівня освітленості в теплиці.

У блоці ініціалізації початкових параметрів встановлюються верхні та нижні допустимі межі для температури повітря ($T_{п \max}$ і $T_{п \min}$), верхні та нижні межі для температури ґрунту ($T_{г \max}$ і $T_{г \min}$), верхні та нижні межі для вологості повітря ($H_{п \max}$ і $H_{п \min}$), максимальний допустимий рівень вуглекислого газу (CO_2_{\max}), верхні та нижні межі для вологості ґрунту ($W_{г \max}$ і $W_{г \min}$) та максимальний допустимий рівень освітленості (L_{\max}).

Блок вимірювання та контролю температури повітря працює за наступним принципом. Якщо температура повітря ($T_{п}$) нижча за нижню межу (T_{\min}), то активується обігрівач, який функціонує до того моменту, коли температура повітря перевищить нижню межу, після чого вимикається. У випадку, якщо температура повітря ($T_{п}$) перевищує верхню межу (T_{\max}), то вмикається охолоджувач, який працює до того моменту, коли температура повітря стає нижче за верхню межу, після чого вимикається.

Блок вимірювання та контролю вологості повітря працює за наступним принципом. Якщо вологість повітря ($H_{п}$) нижча за нижню межу (H_{\min}), то активується зволожувач, який функціонує до того моменту, коли вологість повітря перевищить нижню межу, після чого вимикається. У випадку, якщо вологість повітря ($H_{п}$) перевищує верхню межу (H_{\max}), то вмикається вентилятор, який працює до того моменту, коли вологість повітря стає нижче за верхню межу, після чого вимикається.

Блок вимірювання та контролю температури ґрунту працює за наступним принципом. Якщо температура ґрунту ($T_{г}$) нижча за нижню межу

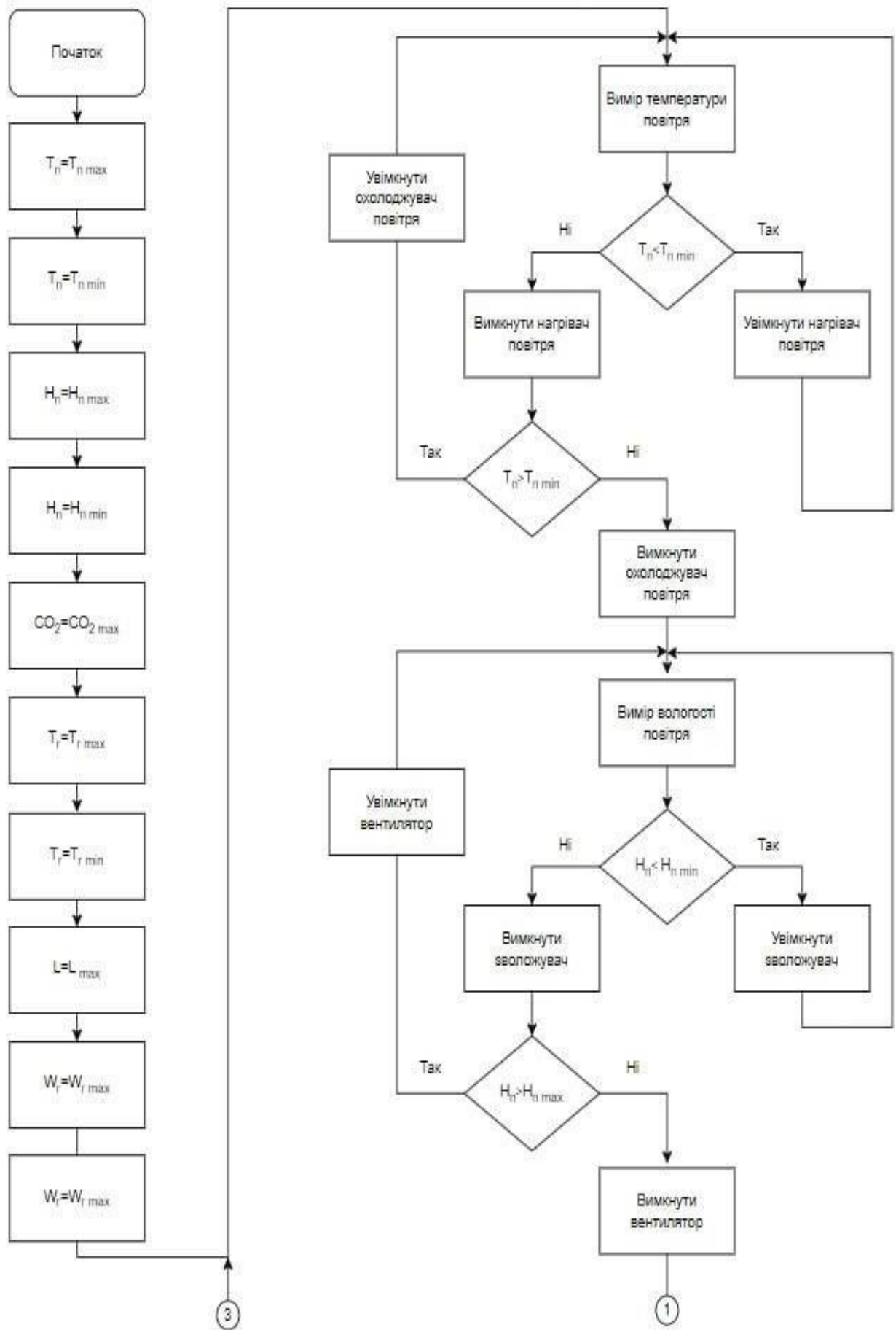
(T_{\min}), то активується обігрівач, який функціонує до того моменту, коли температура ґрунту перевищить нижню межу, після чого вимикається. У випадку, якщо температура ґрунту ($T_{\text{г}}$) перевищує верхню межу (T_{\max}), то вмикається охолоджувач, який працює до того моменту, коли температура ґрунту стає нижче за верхню межу, після чого вимикається.

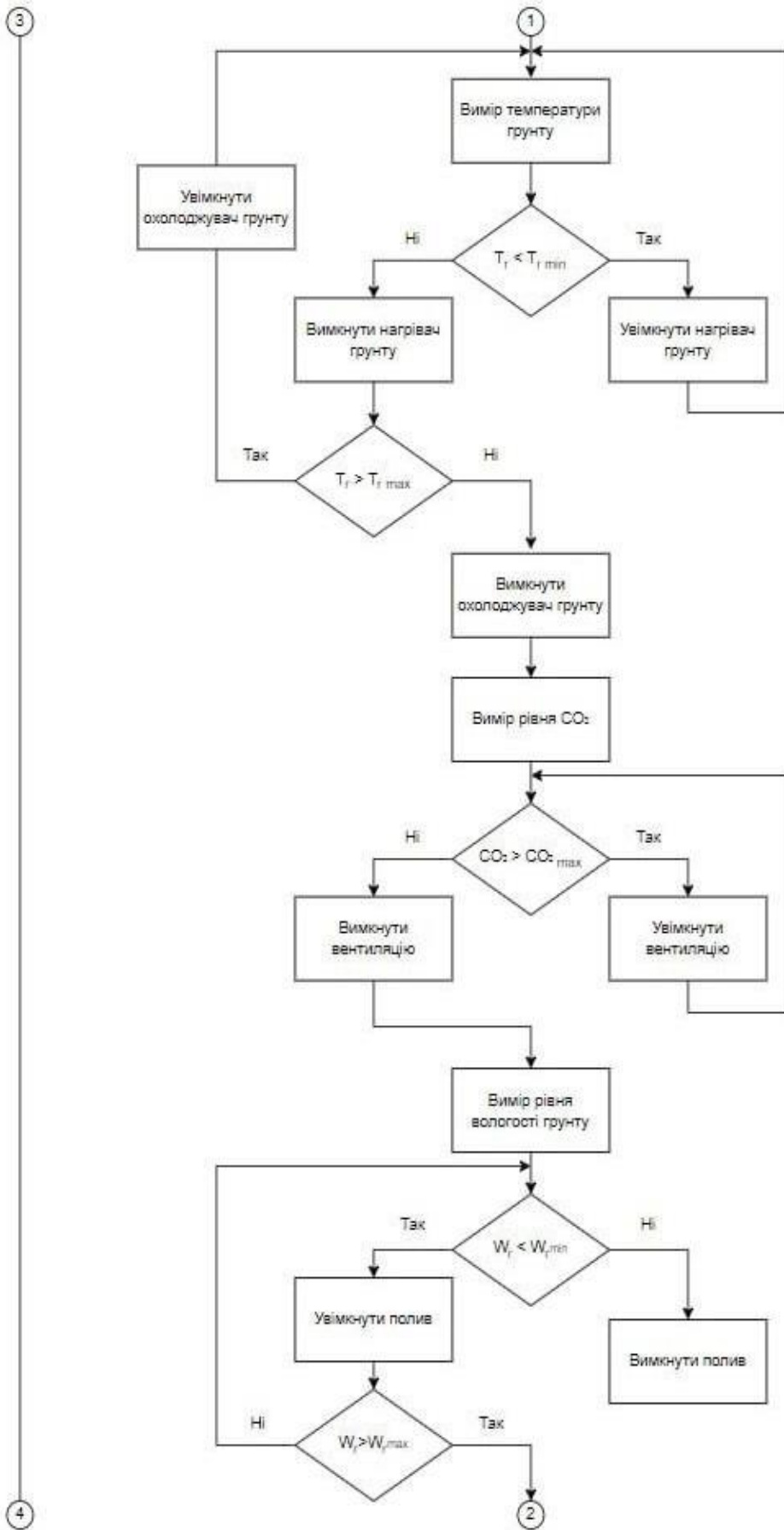
Блок вимірювання та підтримки необхідного рівня вуглекислого газу працює за наступним принципом. У випадку перевищення рівня CO_2 в повітрі над верхньою межею ($\text{CO}_{2\max}$), активується вентиляція, яка працює до тих пір, поки рівень CO_2 в повітрі не знизиться нижче верхньої межі, після чого вимикається.

Блок вимірювання та підтримки необхідного рівня вологості ґрунту працює за наступним принципом. У випадку якщо вологість ґрунту ($W_{\text{г}}$) нижча за мінімальну межу ($W_{\text{г}\min}$), то вмикається полив і працює до тих пір, поки вологість ґрунту не досягне верхньої межі ($W_{\text{г}\max}$), після чого полив вимикається.

Блок вимірювання та підтримки необхідного рівня освітленості в теплиці працює за наступним принципом. У випадку якщо рівень освітленості (L) буде більшим за максимально допустимий (L_{\max}), зашторювач почне своє розгортання і буде розгортатись до тих пір, поки показник не буде в допустимих значеннях. Після цього цикл контролю повторюється, розпочинаючи з блоку підтримки температури.

Алгоритм роботи пристрою наведено на рисунку 2.3





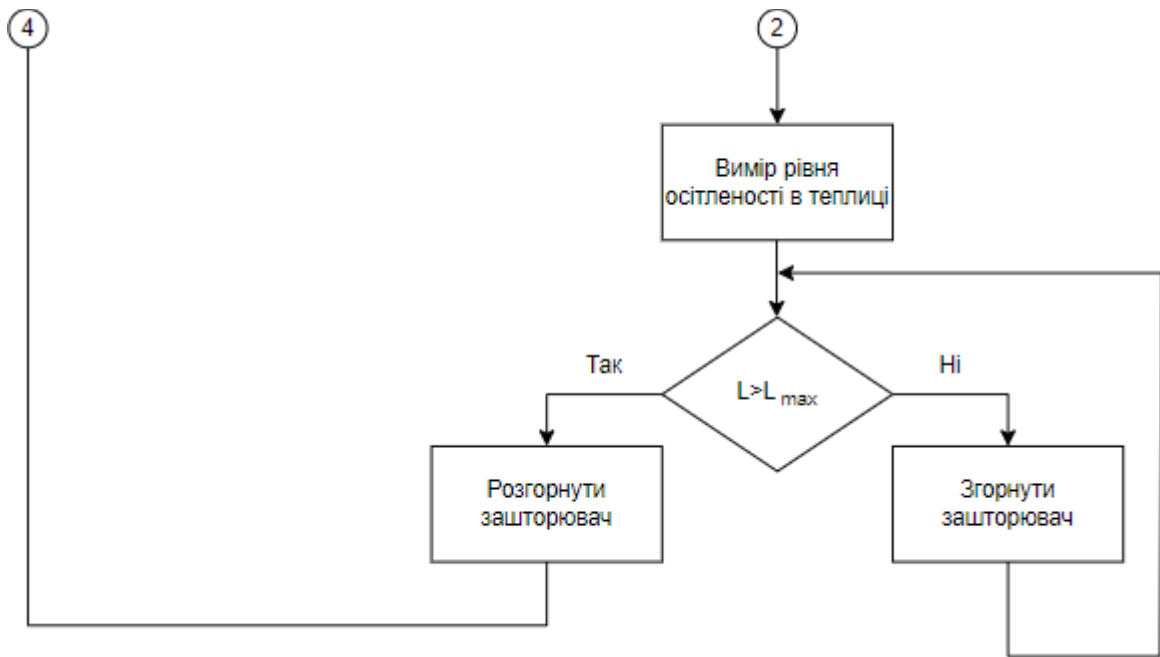


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи пристрою

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В даному розділі буде розглянуто розробку програмного забезпечення для системи «розумної теплиці» з використанням мови програмування Arduino. Код реалізує програму для вимірювання, моніторингу температури, вологості, рівня CO₂ та відправки цих даних в Google таблицю через HTTP-запити для подальшого аналізу. Також представлена розробка веб-інтерфейсу для можливості встановлення верхніх та нижніх порогів для температури та вологості.

3.1 Підключення бібліотек та визначення констант

У цій частині коду визначаються всі необхідні бібліотеки для використання датчиків DHT та ESP8266, а також для роботи з веб-сервером і HTTPS-клієнтом. Також визначаються константи, такі як тип датчика DHT, піни для світлодіодів та датчиків. Підключення бібліотек та визначення констант зазначено на рисунку 3.1

```
#include <Arduino.h>
#include <DHT.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <EEPROM.h>

#define DHTTYPE DHT11
#define DHTPin 14
#define MQ135Pin A0
#define tempLowPin 2
#define tempMidPin 12
#define tempHighPin 13
#define bluePin 5
#define greenPin 4
#define redPin 0
```

Рисунок 3.1 - Підключення бібліотек та визначення констант

#Arduino.h - це стандартна бібліотека Arduino, яка містить базові функції для роботи з мікроконтролерами Arduino.

`#DHT.h` - ця бібліотека використовується для взаємодії з датчиками вологості та температури DHT.

`#ESP8266WiFi.h` - бібліотека для роботи з модулем Wi-Fi ESP8266, яка дозволяє підключитися до мережі Wi-Fi.

`#WiFiClientSecure.h` - бібліотека для встановлення безпечного (шифрованого) з'єднання з віддаленим сервером через HTTPS.

`#ESP8266WebServer.h` - бібліотека для створення веб-сервера на мікроконтролері ESP8266.

`#EEPROM.h` - бібліотека для роботи з EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), яка дозволяє зберігати дані, які залишаються після вимкнення живлення.

`#DHTTYPE` - визначає тип датчика DHT, в даному випадку - DHT11.

`#DHTPin` - визначає пін, на якому підключений датчик DHT.

`#MQ135Pin` - визначає аналоговий пін, на якому підключений датчик газу MQ135.

`#tempLowPin`, `tempMidPin`, `tempHighPin` - визначають піни для світлодіодів, які використовуються для візуального відображення ступенів температури (низька, нормальна, висока).

`#bluePin`, `greenPin`, `redPin` - визначають піни для світлодіодів, які використовуються для візуального відображення ступенів вологості (низька, нормальна, висока).

Ці константи дозволяють налаштувати піни та параметри для конкретних підключених компонентів та датчиків.

3.2 Ініціалізація об'єктів та змінних

В даній частині коду ініціалізуються об'єкти для роботи з датчиками, визначаються константи та глобальні змінні, такі як дані для підключення до Wi-Fi, URL-адреса Google таблиці, порогові значення для вологості та температури. Ініціалізація об'єктів та змінних зображена на рисунку 3.2

```

DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);
const int MQ135Threshold = 800; // Значение порога для CO2
const char* ssid = "Laiko";
const char* password = "12345678";
const char* host = "script.google.com";
const int httpsPort = 443;
WiFiClientSecure client;
String Google_ID = "AKfycbzogv0ixVwwB7aS-Wj_1aSKVTU5_NksQwcGtoh-8ay20733vWeC0C7BHAQqA5mx5xqDMg";
unsigned long last_time;
const int pausa = 6000; // Обновление данных каждую минуту
ESP8266WebServer server(80);
int minHumidityThreshold = 50; // Значения по умолчанию
int maxHumidityThreshold = 60;
int minTempThreshold = 20; // Новые значения по умолчанию для температуры
int maxTempThreshold = 30;

```

Рисунок 3.2 - Ініціалізація об'єктів та змінних

`DHT dht(DHTPin, DHTTYPE)` - цей рядок ініціалізує об'єкт `dht`, який представляє собою датчик вологості та температури DHT. `DHTPin` - пін, на якому підключений датчик. `DHTTYPE` - тип датчика (в даному випадку `DHT11`).

`const int MQ135Threshold = 800` - константа `MQ135Threshold` визначає порогове значення для датчика газу `MQ135`.

`const char* ssid = "Laiko"` - рядок `ssid` містить ім'я (SSID) Wi-Fi мережі.

`const char* password = "password"` - рядок `password` містить пароль для підключення до Wi-Fi мережі.

`const char* host = "script.google.com"` - рядок `host` визначає адресу веб-сервера, на який будуть відправлятися дані.

`const int httpsPort = 443` - константа `httpsPort` вказує порт для безпечного (шифрованого) з'єднання.

`WiFiClientSecure client` - об'єкт `client` представляє собою клієнт для здійснення безпечного з'єднання з віддаленим сервером.

`String Google_ID = "AKfycbzogv0ixVwwB7aS-Wj_1aSKVTU5_NksQwcGtoh-8ay20733vWeC0C7BHAQqA5mx5xqDMg"` - рядок `Google_ID` містить ідентифікатор проекту Google таблиці, який використовується в URL для відправки даних.

`unsigned long last_time` - змінна `last_time` використовується для

відстеження часу від останньої відправки даних.

`const int pausa = 6000` - константа `pausa` визначає інтервал часу (у мілісекундах), через який відбувається оновлення даних та їхнє відправлення.

`ESP8266WebServer server(80)` - об'єкт `server` ініціалізує веб-сервер на порту 80 (стандартний HTTP-порт).

`int minHumidityThreshold = 50` - змінна `minHumidityThreshold` визначає порогове значення для мінімальної вологості.

`int maxHumidityThreshold = 60` - змінна `maxHumidityThreshold` визначає порогове значення для максимальної вологості.

`int minTempThreshold = 20` - змінна `minTempThreshold` визначає порогове значення для мінімальної температури.

`int maxTempThreshold = 30` - змінна `maxTempThreshold` визначає порогове значення для максимальної температури.

3.3 Функції збереження та завантаження порогових значень

В даній частині будуть описані функції, що використовують EEPROM для збереження та завантаження порогових значень вологості та температури. Це дозволяє зберігати налаштування і відновлювати їх при перезавантаженні мікроконтролера. Функція збереження порогових значень зображена на рисунку 3.3. Функція завантаження порогових значень зображена на рисунку 3.4.

```
void saveThresholds() {
    EEPROM.put(0, minHumidityThreshold);
    EEPROM.put(sizeof(int), maxHumidityThreshold);
    EEPROM.put(2 * sizeof(int), minTempThreshold);
    EEPROM.put(3 * sizeof(int), maxTempThreshold);
    EEPROM.commit();
}
```

Рисунок 3.3 – Функція збереження порогових значень

`void saveThresholds()` - ця функція використовує бібліотеку EEPROM для збереження порогових значень вологості та температури в пам'яті

мікроконтролера.

`EEPROM.put(0, minHumidityThreshold);` - записує значення мінімальної вологості у пам'ять EEPROM, починаючи з адреси 0.

`EEPROM.put(sizeof(int), maxHumidityThreshold);` - записує значення максимальної вологості у пам'ять EEPROM, починаючи з адреси, що йде після `sizeof(int)`.

`EEPROM.put(2 * sizeof(int), minTempThreshold);` - записує значення мінімальної температури у пам'ять EEPROM, починаючи з адреси, що йде після `2 * sizeof(int)`.

`EEPROM.put(3 * sizeof(int), maxTempThreshold);` - записує значення максимальної температури у пам'ять EEPROM, починаючи з адреси, що йде після `3 * sizeof(int)`.

`EEPROM.commit();` - підтверджує збереження змін у пам'яті EEPROM.

```
void loadThresholds() {
    EEPROM.get(0, minHumidityThreshold);
    EEPROM.get(sizeof(int), maxHumidityThreshold);
    EEPROM.get(2 * sizeof(int), minTempThreshold);
    EEPROM.get(3 * sizeof(int), maxTempThreshold);
}
```

Рисунок 3.4 – Функція завантаження порогових значень

`void loadThresholds()` - ця функція використовує EEPROM для завантаження збережених порогових значень вологості та температури під час запуску програми.

`EEPROM.get(0, minHumidityThreshold);` - зчитує значення мінімальної вологості з пам'яті EEPROM, починаючи з адреси 0.

`EEPROM.get(sizeof(int), maxHumidityThreshold);` - зчитує значення максимальної вологості з пам'яті EEPROM, починаючи з адреси, що йде після `sizeof(int)`.

`EEPROM.get(2 * sizeof(int), minTempThreshold);` - зчитує значення мінімальної температури з пам'яті EEPROM, починаючи з адреси, що йде після

2 * sizeof(int).

EEPROM.get(3 * sizeof(int), maxTempThreshold); - зчитує значення максимальної температури з пам'яті EEPROM, починаючи з адреси, що йде після 3 * sizeof(int).

3.4 Веб-сервер та відображення HTML сторінки

В даній частині коду наведено функцію, що відповідає за генерацію HTML сторінки, яка включає форму для встановлення порогових значень вологості та температури. Сторінка також містить інформацію про статус вологості та температури, яка відображається за допомогою світлодіодів. Код сторінки зображено на рисунку 3.5

```
void handleRoot() {
  String content = "<html><head><style>";
  content += "body { font-family: Arial, sans-serif; background-color: #f4f4f4; margin: 20px; }";
  content += "h1 { color: #333333; }";
  content += "form { max-width: 400px; margin: 20px auto; background: #ffffff; padding: 20px; border-radius: 8px; box-shadow: 0px 0px 10px rgba(0,0,0,0.1); }";
  content += "label { display: block; margin: 10px 0 5px; }";
  content += "input { width: 100%; padding: 8px; margin-bottom: 10px; box-sizing: border-box; }";
  content += "input[type=submit] { background-color: #4caf50; color: white; cursor: pointer; }";
  content += ".led-status { display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border-radius: 50%; margin-right: 5px; }";
  content += ".led-blue { background-color: #3498db; }";
  content += ".led-green { background-color: #2ecc71; }";
  content += ".led-red { background-color: #e74c3c; }";
  content += ".led-off { background-color: #95a5a6; }";
  content += "</style></head><body>";
  content += "<h1>Диплом Лайко Бордан АПСм-22-1</h1>";
  content += "<form action='/setThreshold' method='POST'>";
  content += "<label>Попир вологості (мік): <input type='number' name='minHumidity' value='" + String(minHumidityThreshold) + "'></label>";
  content += "<label>Попир вологості (макс): <input type='number' name='maxHumidity' value='" + String(maxHumidityThreshold) + "'></label>";
  content += "<label>Попир температури (мік): <input type='number' name='minTemp' value='" + String(minTempThreshold) + "'></label>";
  content += "<label>Попир температури (макс): <input type='number' name='maxTemp' value='" + String(maxTempThreshold) + "'></label>";
  content += "<input type='submit' value='Зберегти значення'>";
  content += "</form>";
  content += "<p><span class='led-status led-blue'></span> Синій - Низька вологість</p>";
  content += "<p><span class='led-status led-green'></span> Зелений - Нормальна вологість</p>";
  content += "<p><span class='led-status led-red'></span> Червоний - Висока вологість</p>";
  content += "<p><span class='led-status led-blue'></span> Синій - Низька температура</p>";
  content += "<p><span class='led-status led-green'></span> Зелений - Нормальна температура</p>";
  content += "<p><span class='led-status led-red'></span> Червоний - Висока температура</p>";
  content += "</body></html>";
  server.send(200, "text/html; charset=utf-8", content);
}
```

Рисунок 3.5 – Код HTML-сторінки

3.5 Обробка HTTP запиту для встановлення порогових значень вологості та температури

Дана частина коду містить функцію, котра відповідає за обробку запиту та встановлення нових порогових значень вологості та температури через веб-інтерфейс, зберігає їх у пам'яті та перенаправляє користувача на головну сторінку веб-інтерфейсу. Код функції зображено на рисунку 3.6.

```

void handleSetThreshold() {
  Serial.println("Обработка запроса установки порогов...");
  if (server.args() > 0) {
    int minHumidity = server.arg("minHumidity").toInt();
    int maxHumidity = server.arg("maxHumidity").toInt();
    int minTemp = server.arg("minTemp").toInt();
    int maxTemp = server.arg("maxTemp").toInt();
    minHumidityThreshold = minHumidity;
    maxHumidityThreshold = maxHumidity;
    minTempThreshold = minTemp;
    maxTempThreshold = maxTemp;
    saveThresholds();
    Serial.print("Минимальная влажность: ");
    Serial.println(minHumidityThreshold);
    Serial.print("Максимальная влажность: ");
    Serial.println(maxHumidityThreshold);
    Serial.print("Минимальная температура: ");
    Serial.println(minTempThreshold);
    Serial.print("Максимальная температура: ");
    Serial.println(maxTempThreshold);
  }
  server.sendHeader("Location", "/");
  server.send(302, "text/plain", "");
}

```

Рисунок 3.6 - Обробка HTTP запиту для встановлення порогових значень вологості та температури

`Serial.println("Обработка запиту установки порогів...");` - виводить повідомлення в Serial Monitor, щоб позначити початок обробки запиту.

`if (server.args() > 0) {` - перевірка, чи є параметри запиту. `server.args()` повертає кількість параметрів, переданих в запиті.

`int minHumidity = server.arg("minHumidity").toInt();` - отримання значення параметра "minHumidity" з запиту та конвертація його в ціле число.

`int maxHumidity = server.arg("maxHumidity").toInt();` - отримання значення параметра "maxHumidity" з запиту та конвертація його в ціле число.

`int minTemp = server.arg("minTemp").toInt();` - отримання значення параметра "minTemp" з запиту та конвертація його в ціле число.

`int maxTemp = server.arg("maxTemp").toInt();` - отримання значення параметра "maxTemp" з запиту та конвертація його в ціле число.

`minHumidityThreshold = minHumidity;` - змінює глобальну змінну `minHumidityThreshold` на нове значення.

`maxHumidityThreshold = maxHumidity` - змінює глобальну змінну `maxHumidityThreshold` на нове значення.

`minTempThreshold = minTemp` - змінює глобальну змінну `minTempThreshold` на нове значення.

`maxTempThreshold = maxTemp` - змінює глобальну змінну `maxTempThreshold` на нове значення.

`saveThresholds();` - викликає функцію `saveThresholds()`, яка зберігає нові порогові значення в пам'яті EEPROM.

`server.sendHeader("Location", "/");` - вказує, що після обробки запиту користувача, відбудеться перенаправлення на головну сторінку ("/").

`server.send(302, "text/plain", "");` відправляє HTTP-відповідь з кодом статусу 302 (перенаправлення) та порожнім вмістом.

3.6 Налаштування та запуск веб-сервера

Ця частина коду містить функцію, встановлює обробники для різних шляхів HTTP-запитів, запускає веб-сервер та виводить інформацію про його стан в Serial Monitor. Код для налаштування та запуску веб-сервера зображено на рисунку 3.7.

```
void setupWebServer() {
  server.on("/", HTTP_GET, handleRoot);
  server.on("/setThreshold", HTTP_POST, handleSetThreshold);

  server.begin();

  Serial.println("Веб-сервер запущен.");
  Serial.print("IP-адрес ESP8266: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

Рисунок 3.7 - Налаштування та запуск веб-сервера на ESP8266

`server.on("/", HTTP_GET, handleRoot);` - встановлює обробник (handler) для HTTP GET-запитів на шлях "/" (головна сторінка). Коли користувач відкриває головну сторінку, викликається функція `handleRoot()`, яка відповідає за генерацію вмісту сторінки та відправку його користувачеві.

`server.on("/setThreshold", HTTP_POST, handleSetThreshold);` - встановлює обробник для HTTP POST-запитів на шлях `"/setThreshold"`. Коли користувач встановлює нові порогові значення через веб-інтерфейс, викликається функція `handleSetThreshold()`, яка обробляє цей запит.

`server.begin();` - запускає веб-сервер. В цей момент веб-сервер починає слухати на визначеному порті та обробляти HTTP-запити, спрямовані на ESP8266.

`Serial.println("Веб-сервер запущен.");` - виводить повідомлення у Serial Monitor, щоб підтвердити успішний запуск веб-сервера.

`Serial.print("IP-адрес ESP8266: ");` - виводить повідомлення про те, що буде виведено IP-адресу ESP8266.

`Serial.println(WiFi.localIP());` - виводить фактичний IP-адресу ESP8266, який був присвоєний під час підключення до мережі Wi-Fi.

3.7 Ініціалізація та підключення компонентів

В даній частині коду описується функція, котра викликається при запуску мікроконтролера ESP8266, відповідає за ініціалізацію різних компонентів, таких як Serial Monitor, датчики, світлодіоди, Wi-Fi, веб-сервер, а також завантаження попередньо збережених налаштувань з EEPROM. Код функції зображено на рисунку 3.8.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  pinMode(MQ135Pin, INPUT);
  pinMode(bluePin, OUTPUT);
  pinMode(greenPin, OUTPUT);
  pinMode(redPin, OUTPUT);
  pinMode(tempLowPin, OUTPUT); // Новые пины для светодиодов температуры
  pinMode(tempMidPin, OUTPUT);
  pinMode(tempHighPin, OUTPUT);}
  delay(500);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Подключение ");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(250);
  }
  Serial.println("Успешно подключено к WiFi");
  client.setInsecure();
  setupWebServer();
  loadThresholds(); // Загрузка значений порогов из EEPROM
}
```

Рисунок 3.8 - Ініціалізація та підключення компонентів

`Serial.begin(115200);` - ініціалізує з'єднання з Serial Monitor і встановлює швидкість передачі даних на 115200 біт в секунду.

`dht.begin();` - ініціалізує датчик вологості та температури DHT11.

`pinMode(MQ135Pin, INPUT);` - встановлює режим введення для піна, до якого підключений датчик MQ135 для вимірювання рівня CO₂.

`pinMode(bluePin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування синім світлодіодом (індикатором вологості).

`pinMode(greenPin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування зеленим світлодіодом (індикатором вологості).

`pinMode(redPin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування червоним світлодіодом (індикатором вологості).

`pinMode(tempLowPin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування світлодіодом, який показує низьку температуру.

`pinMode(tempMidPin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування світлодіодом, який показує середню температуру.

`pinMode(tempHighPin, OUTPUT);` - встановлює режим виведення для піна, призначеного для керування світлодіодом, який показує високу температуру.

`delay(500);` - затримка на 500 мілісекунд для стабілізації після початкового включення.

`WiFi.begin(ssid, password);` - розпочинає процес підключення до мережі Wi-Fi, використовуючи ім'я мережі (SSID) та пароль, зазначені в коді.

`while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { ... }` - очікує, доки мікроконтролер успішно не підключиться до мережі Wi-Fi. Протягом цього часу виводить крапку кожні 250 мілісекунди, показуючи процес підключення.

`Serial.println("Успешно підключено к WiFi");` - виводить повідомлення про успішне підключення до мережі Wi-Fi.

`client.setInsecure();` - налаштовує клієнта для безпечного (без SSL-сертифіката) з'єднання.

`setupWebServer();` - викликає функцію `setupWebServer()`, яка встановлює обробники веб-сервера та запускає його.

`loadThresholds();` - завантажує порогові значення з EEPROM, якщо вони були збережені раніше.

3.8 Цикл зчитування та відправлення даних

Основний цикл програми забезпечує постійне зчитування даних від датчиків та їхню відправку на Google таблицю через HTTP GET-запит. Також обробляються HTTP-запити від веб-сервера для забезпечення взаємодії з користувачем через веб-інтерфейс. Код зазначено на рисунку 3.9.

```

void loop() {
  int h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();

  int CO2Value = analogRead(MQ135Pin);

  Serial.println("==== Вивод даних ====");
  Serial.print("Температура: ");
  Serial.println(t);
  Serial.print("Влажність: ");
  Serial.println(h);
  Serial.print("CO2: ");
  Serial.println(CO2Value);
  Serial.println("=====");

  delay(100);

  server.handleClient();
  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("Ошибка чтения датчика температуры");
    delay(500);
    return;
  }

  if (millis() - last_time > pausa) {
    sendData(t, h, CO2Value);
    last_time = millis();
  }
}

```

Рисунок 3.9 – Цикл зчитування та відправлення даних

У цій частині програмного коду виконується основний цикл роботи мікроконтролера ESP8266. Процес починається з отримання вимірюваних значень вологості, температури і рівня CO₂ за допомогою відповідних датчиків (DHT та MQ135). Отримані дані виводяться у консоль (Serial Monitor) для подальшої налагодження та відладки.

Після цього відбувається коротка затримка для стабілізації читань з датчиків. Далі програма обробляє можливі HTTP-запити до веб-сервера, що дозволяє взаємодіяти з програмою через веб-інтерфейс.

Програма перевіряє правильність зчитаних даних з датчиків та виконує обробку можливих помилок. Якщо пройшовший час з останньої відправки даних більший за задану паузу, відбувається відправка цих даних на Google таблицю за допомогою HTTP GET-запиту.

Цей основний цикл постійно повторюється, забезпечуючи неперервну роботу програми для збору, відображення та передачі даних.

Вигляд веб-інтерфейсу показано на рисунку 3.10

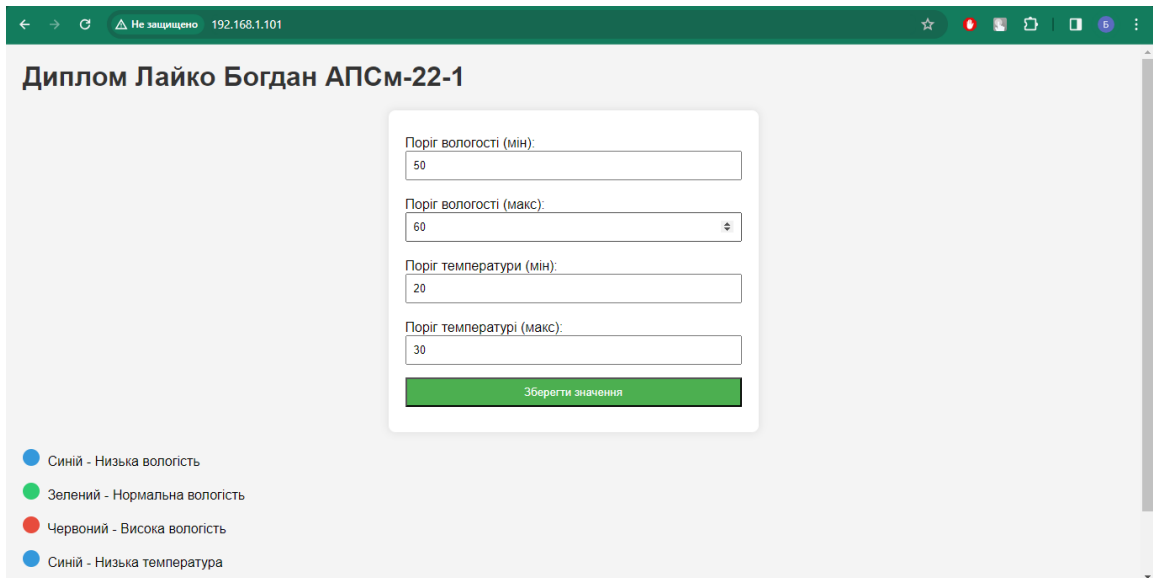


Рисунок 3.10 – Вигляд веб-інтерфейсу

3.9 Запис даних в Google таблицю

У цьому коді реалізована Google Apps Script для обробки HTTP GET-запитів, отриманих від ESP8266. Даний скрипт працює в середовищі Google Apps Script і призначений для взаємодії з Google таблицями. Код скрипта зображено на рисунку 3.10.

```
function doGet(e) {
  Logger.log( JSON.stringify(e) );
  var result = 'Ok';
  if (e.parameter == 'undefined') {
    result = 'Нет параметров';
  }
  else {
    var sheet_id = 'XXXXXXXXXXXXXXXX-XXXXXXXXXXXXXXXX-XXXXXXXX-XXX'; // ID таблицы
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getActiveSheet();
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];
    var Curr_Date = new Date();
    rowData[0] = Curr_Date; // Дата, вставить в столбец A
    var Curr_Time = Utilities.formatDate(Curr_Date, "Europe/Moscow", 'HH:mm:ss');
    rowData[1] = Curr_Time; // Время, вставить в столбец B
    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param=' + param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
      switch (param) {
        case 'temperature':
          rowData[2] = value; // Температура, вставить в столбец C
          result = 'Температура, записана в столбец C';
          break;
        case 'humidity':
          rowData[3] = value; // Влажность, вставить в столбец D
          result += ' ,Влажность, записана в столбец C';
          break;
        default:
          result = "неподдерживаемый параметр";
      }
    }
    Logger.log(JSON.stringify(rowData));
    var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
    newRange.setValues([rowData]);
  }
  return ContentService.createTextOutput(result);
}
function stripQuotes( value ) {
  return value.replace(/^["']|["']$/g, "");
}
```

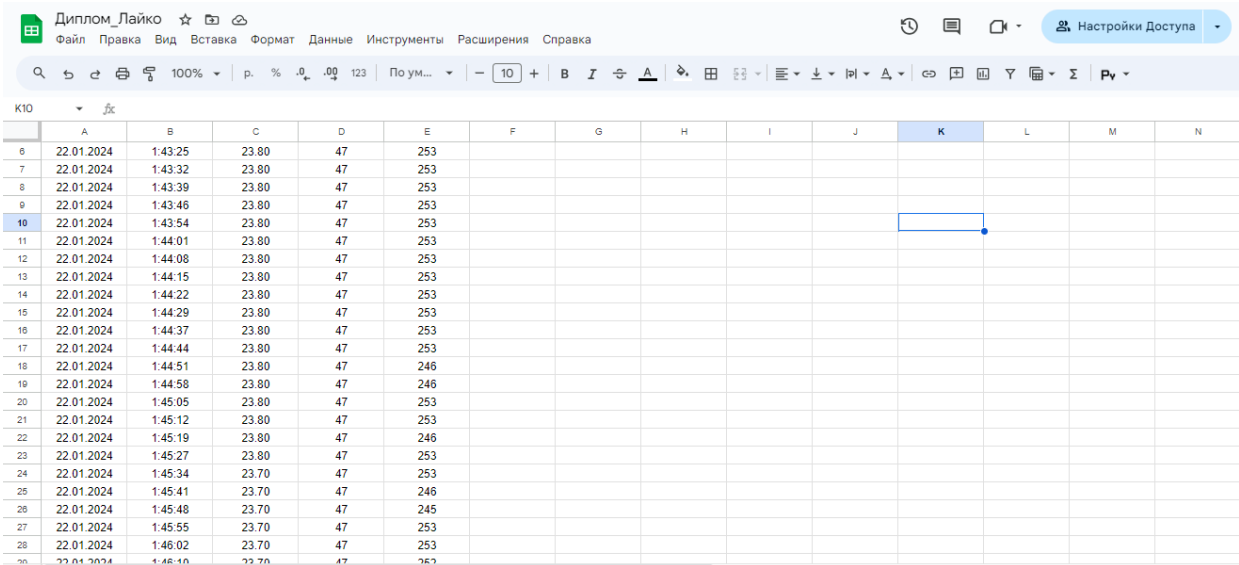
Рисунок 3.10 – Код скрипта

Основна функція `doGet(e)` викликається при отриманні HTTP GET-запиту. Відомості про запит передаються через об'єкт `(e)`. Запит записується в журнал для подальшої відладки. Потім визначається ID таблиці Google Sheets та відкривається відповідний аркуш таблиці.

Далі виконується ітерація по всіх параметрах, які були передані в HTTP GET-запиті. Значення параметрів зберігаються в масив `rowData` згідно з визначеними стовбцями таблиці. Перший стовбець (A) – дата. Другий стовбець (B) – час. Третій стовбець (C) – температура. Четвертий стовбець (D) – вологість. П'ятий стовбець (E) - рівень CO₂.

Функція `stripQuotes` використовується для видалення можливих сценаріїв, якщо значення містилося в сценаріях у HTTP GET-запиті.

Отримані дані записуються в новий рядок таблиці, і функція повертає відповідь, яка містить інформацію про успішне чи невдале виконання операції запису в таблицю. Запис даних в Google таблицю показано на рисунку 3.11.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
6	22.01.2024	1:43:25	23.80	47	253									
7	22.01.2024	1:43:32	23.80	47	253									
8	22.01.2024	1:43:39	23.80	47	253									
9	22.01.2024	1:43:46	23.80	47	253									
10	22.01.2024	1:43:54	23.80	47	253									
11	22.01.2024	1:44:01	23.80	47	253									
12	22.01.2024	1:44:08	23.80	47	253									
13	22.01.2024	1:44:15	23.80	47	253									
14	22.01.2024	1:44:22	23.80	47	253									
15	22.01.2024	1:44:29	23.80	47	253									
16	22.01.2024	1:44:37	23.80	47	253									
17	22.01.2024	1:44:44	23.80	47	253									
18	22.01.2024	1:44:51	23.80	47	246									
19	22.01.2024	1:44:58	23.80	47	246									
20	22.01.2024	1:45:05	23.80	47	253									
21	22.01.2024	1:45:12	23.80	47	253									
22	22.01.2024	1:45:19	23.80	47	246									
23	22.01.2024	1:45:27	23.80	47	253									
24	22.01.2024	1:45:34	23.70	47	253									
25	22.01.2024	1:45:41	23.70	47	246									
26	22.01.2024	1:45:48	23.70	47	245									
27	22.01.2024	1:45:55	23.70	47	253									
28	22.01.2024	1:46:02	23.70	47	253									
29	22.01.2024	1:46:10	23.70	47	253									

Рисунок 3.11 – Запис даних в Google таблицю

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягала у дослідженні можливості реалізації автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату в теплиці з точки зору її мікрокліматичних показників, вибору необхідного режиму роботи, а також керування мікрокліматичними показниками у режимі реального часу через веб-інтерфейс.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні задачі:

- розроблено систему, яка має здатність автоматично регулювати умови мікроклімату в теплиці на основі попередньо заданих параметрів;
- розроблено інтерфейс користувача, який дозволяє задавати необхідні параметри для середовища;
- визначено необхідні параметри мікроклімату для вирощування рослин;
- обрано елементи для реалізації принципової схеми пристрою;
- реалізовано механізми збору даних від датчиків та їх передачу на зовнішній веб-сервер для зберігання і подальшого аналізу.

Отже, усі задачі для досягнення поставленої мети було виконано в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Проектування інформаційних систем. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ed-0c7762-9890-4cb9-a3ef-87d51c1424a4/content> (дата звернення: 11.01.24).
2. Що таке розумна теплиця, її принцип роботи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://buduemo.com/ua/news/smart_systems/scho-take-rozumna-teplicja-ta-ii-princip-roboti.html (дата звернення: 11.01.24).
3. Класифікація інформаційних систем та інформаційних технологій. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/21185/informatika/klasifikatsiya_informatsiynih_sistem_informatsiynih_tehnologiy (дата звернення: 11.01.24).
4. Загальні питання теорії проектування ІС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/33651/1/PIS-_KL.pdf (дата звернення: 11.01.24).
5. Будова й устаткування споруджень захищеного ґрунту. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://agrokom.at.ua/OZG/lekcii/1_1_ozg.pdf (дата звернення: 11.01.24).
6. Обігрівач 30AW004 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://www.atek.ru/catalog/konditsionirovanie/chillery/chillery-carrier-30aw-004-015.html> (дата звернення: 20.01.24).
7. Технології обробки ґрунтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://ua.izzi.digital/DOS/306708/355723.html> (дата звернення: 20. 01.24).
8. Системи зашторювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32304/1/Zviriaka_magistrpdf (дата звернення: 21.01.24).
9. Терморегулятори ґрунту [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://сахара.ua/pro-nas-statti-teplovyi-nasos-chastyna-2-dzherelo-tepla> (дата звернення: 21.01.24).
10. IoT в сільському господарстві. [Електронний ресурс]. – Режим

доступу до ресурсу: <https://www.mokosmart.com/uk/iot-in-agriculture/> (дата звернення: 12.01.24).

11. Розумний полив у теплиці. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a472933-umnyj-poliv-teplitse.html> (дата звернення: 12.01.24).

12. Мультиспектральний аналіз дронами в садівництві та плодоовочівництві. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/ppvbd> (дата звернення: 12.01.24).

13. Принцип дії теплових насосів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://teplosfera.com/blog/teplovi-nasosi/geotermalnyj-teplovuj-nasos-budova-pryntsyp-roboty-perevagy-ta-nedoliky> (дата звернення: 12.01.24).

14. Світлодіодне освітлення для теплиць [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecolight-ua.com.ua/ua/stati/svetodiodnoe-osveshchenie-dlya-teplic> (дата звернення: 12.01.24).

15. Аналіз вимог до програмного забезпечення [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://dspace.wunu.edu.ua/retrieve/14135/FCIT_kKN_sPZS_dAVPZ_%20LEC.pdf (дата звернення: 13.01.24).

16. Кто такие стейкхолдеры [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://brainrain.com.ua/kto-takie-steykholderi/> (дата звернення: 13.01.24).

17. Атрибути якості [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/ppvde> (дата звернення: 14.01.24).

18. Тепловий режим для росту і розвитку рослин овочевих культур [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ar25.org/article/teplovyy-rezhym-dlya-rostu-i-rozvytku-roslyn-ovochevyh-kultur.html> (дата звернення: 14.01.24).

19. Чим загрожує низька і висока вологість повітря? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://kurkul.com/blog/680-agroprognoz-chim-zagrojuye-nizka-i-visoka-vologist-povitrya> (дата звернення: 14.01.24).

20. Користь CO₂ у вирощуванні рослин [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://grow.in.ua/uk/blog/technology/blogart76> (дата звернення: 15.01.24).

21. Агротехніка вирощування рослин [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://vseosvita.ua/lesson/ahrotekhnika-vyroshchuvannia-pomidor-pertsiu-baklazhan-rozsadnym-ta-bezrozsadnym-sposobamy-183489.html> (дата звернення: 15.01.24).

22. Датчики температури [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.maksvel.com.ua/index.php/statti/79-datchyky-temperature> (дата звернення: 15.01.24).

23. Методи вимірювання концентрації газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_6/19osa.pdf (дата звернення: 15.01.24).

24. Датчик МН-Z14А [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uamper.prom.ua/ua/p397345529-datchik-so2-z14a.html> (дата звернення: 16.01.24).

25. Датчик вологості – види і принцип роботи [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.fmuser.net/content/?14777.html> (дата звернення: 16.01.24).

26. Як вибрати датчики температури [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://ao-tera.com/ua/technology/types-of-temperature-sensors> (дата звернення: 16.01.24).

27. Датчик EnSensir SHTC3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/sek-shtc3-sensors.html> (дата звернення: 16.01.24).

28. Сенсори світла [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://uk.fmuser.net/content/?15540.html> (дата звернення: 17.01.24).

29. Види вентиляторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://www.vent.com.ua/vydy-promyslovyh-ventylyatoriv/> (дата звернення: 17.01.24).

30. Осьовий вентилятор Турбовент Сігма 400 В/С [Електронний ресурс]. – Режим доступу до https://nikovent.com.ua/ru/p1241342362-osevoj-ventilyator-turbovent.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA44OtBhAOEiwAj4gpOQcXcUu-PpCXt0aaSRozgvx_8W90egWluAn6IbufRWSISBdCDfQVхоCIkEQAvD_BwE (дата звернення: 20.01.24).

31. Бітченко О.М. Сенсори і актуатори: навч. посібник для вищих техн. навч. закладів / О. М. Бітченко, О. І. Цопа, І. О. Шевцов, М. І. Болдиш. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 291 с. ISBN 978-966-659-290-6

32. Зволожувач повітря Dantex D-H35UCF [Електронний ресурс]. – Режим доступу до <https://dantex.ru/products/yvlagniteli/yvlagnitelivozduha/ultrazvukovoy-uvlazhnitel-vozdukha-dantex-d-h35ucf/> (дата звернення: 20.01.24).

33. Laiko B. The information system for managing the microclimate of a smart greenhouse / scientific director Tsopa O. // The driving force of science and trends in its development: collection of scientific papers "SCIENTIA" with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, December 22, 2023. Coventry, United Kingdom: International Center of Scientific Research. - P. 125-128.