

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ П. В. Леонт'єв

«_____» _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА**

зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ /
THE AUTOMATED GREENHOUSE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM**

Здобувач ступеня магістра

студент гр. СУ.мз-31с

В.В. Ємельянова

Керівник роботи

Зав. кафедри КСУ

П. В. Леонт'єв

РЕФЕРАТ

Ємельянова Віта Володимирівна. Автоматизована система керування мікрокліматом теплиці. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський Державний Університет, Суми, 2024 р.

Робота містить 39 сторінок основного тексту, 13 рисунків; список використаних джерел з 9 найменувань.

Робота присвячена дослідженню автоматизованої системи управління мікрокліматом у теплиці, яка дозволить ефективно контролювати параметри температури, вологості, освітленості та рівня вуглецевого газу для оптимізації процесу вирощування рослин.

Ключові слова: ВОЛОГІСТЬ, ОСВІТЛЕННЯ, ВУГЛЕЦЕВИЙ ГАЗ (CO₂), ТЕМПЕРАТУРА.

ABSTRACT

Yemelyanova Vita Volodymyrivna. Automated greenhouse microclimate control system. Master's qualification work. Sumy State University, Sumy, 2024

The work contains 39 pages of the main text, 13 figures; list of used sources with 9 items.

The work is devoted to the study of an automated microclimate management system in a greenhouse, which will allow to effectively control the parameters of temperature, humidity, illumination and carbon dioxide level to optimize the process of growing plants.

Keywords: HUMIDITY, LIGHTING, CARBON GAS (CO₂), TEMPERATURE.

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КСУ
_____ П. В. Леонтєв
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Тема роботи: Автоматизована система керування мікрокліматом теплиці. Затверджено наказом ректора університету №

Термін подання закінченої роботи 19.12.2024 р.

Вихідні дані до роботи: завдання кафедри, технічна документація, джерела інформації відкритого доступу.

Календарний план

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Терміни виконання
1	Огляд типів систем, їх компонентів і принципів роботи	10.11.2024
2	Вибір компонентів системи та обґрунтування їх використання	25.11.2024
3	Розробка апаратної та програмної частини системи	05.12.2024
4	Оцінка ефективності роботи системи у порівнянні із сучасними аналогами	10.12.2024
5	Визначення напрямків для подальшого вдосконалення	15.12.2024
6	Технічне оформлення кваліфікаційної роботи та її презентації. Перевірка на відсутність плагіату. Подання роботи до захисту	20.12.2024

Дата видачі завдання «10.11.2024 »

Керівник роботи
Зав. кафедри КСУ

П. В. Леонтєв

До виконання прийняла:
студентка групи СУ.мз-31с

В.В. Ємельянова

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕННЯ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПІВ СИСТЕМ, ЇХ КОМПОНЕНТІВ І ПРИНЦИПІВ РОБОТИ.....	9
1.1 Огляд систем.....	9
1.1.1 Системи з дротовими сенсорами.....	9
1.1.2 Системи з бездротовими сенсорами.....	9
1.1.3 Автоматизовані системи з інтегрованим управлінням.....	10
1.1.4 Порівняння технологій, їх використання.....	11
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ	12
2.1 Основні функції системи.....	12
2.2 Основні компоненти.....	12
2.3 Принцип роботи.....	13
2.4 Приклад архітектури системи.....	13
2.5 Переваги автоматизованої системи управління мікрокліматом.....	14
РОЗДІЛ 3 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ДАТЧИКІВ ТА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ.....	16
3.1 Датчик температури та вологості DHT22.....	16
3.1.1 Схема підключення датчика DHT22.....	16
3.2 Датчик CO ₂ MH-Z19.....	17
3.2.1 Схема підключення датчика CO ₂ MH-Z19.....	17
3.3 Освітлювальний датчик BH1750.....	19
3.3.1 Схема підключення датчика освітленості BH1750 до ESP8266.....	19
РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ІМІТАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯМ.....	21
4.1 Математична модель.....	21
4.1.1. 4.1.1. Вибір контуру управління концентрацією CO ₂	21
4.1.2. Вибір контуру управління температурою.....	26

4.1.3. Додатковий контур керування по освітленню.....	28
РОЗДІЛ 5 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА.....	31
РОЗДІЛ 6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	33
РОЗДІЛ 7 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПОРІВНЯННЯ З СУЧАСНИМИ СИСТЕМАМИ.....	34
7.1 Аналіз ефективності системи.....	34
7.2 Сучасні рішення для порівняння.....	35
ВИСНОВОК.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AIC — Автоматизована інформаційна система;

АСУ — Автоматизована система управління;

IoT — Інтернет речей (Internet of Things);

Wi-Fi — Бездротова мережа передачі даних;

ESP8266/ESP32 — Серії мікроконтролерів із підтримкою Wi-Fi;

DHT22 — Датчик температури та вологості повітря;

MH-Z19 — Датчик рівня CO₂ у повітрі;

BH1750 — Датчик освітлення.

ВСТУП

Автоматизація є одним із ключових напрямів сучасного розвитку технологій, що охоплює як промисловість, так і сільське господарство. У контексті глобальних змін клімату та необхідності забезпечення ефективного використання ресурсів, автоматизовані системи управління мікрокліматом у теплицях набувають особливого значення.

Метою таких систем є створення оптимальних умов для вирощування рослин шляхом постійного моніторингу та регулювання параметрів, таких як температура, вологість, освітленість і рівень вуглекислого газу. Це дозволяє не тільки підвищити врожайність, а й зменшити витрати на енергоносії та зрошення.

У дипломній роботі розглянуто розробку та впровадження автоматизованої системи управління мікрокліматом теплиці, яка базується на використанні сучасних мікроконтролерів серії ESP8266, датчиків температури, вологості, освітленості та концентрації CO₂. Застосування бездротових технологій, таких як Wi-Fi, дозволяє значно спростити інтеграцію та забезпечити можливість віддаленого управління системою.

Розроблена система враховує сучасні тенденції в автоматизації, зокрема інтеграцію технологій Інтернету речей (IoT), що відкриває нові перспективи для моніторингу та аналізу даних у реальному часі.

У роботі виконано аналіз технічних рішень, обґрунтовано вибір компонентів, запропоновано структуру програмного та апаратного забезпечення. Крім того, проведено порівняння створеної системи з сучасними комерційними аналогами та визначено потенціал для її вдосконалення.

Результати роботи можуть бути використані для розробки економічно доступних рішень автоматизації теплиць як для малих фермерських господарств, так і для промислового вирощування рослин.

Актуальність роботи обумовлена зростаючою потребою в інноваційних підходах до ведення сільського господарства, підвищення ефективності виробничих процесів і скорочення витрат ресурсів.

Метою роботи є розробка ефективної, економічно доступної та простої в реалізації системи управління мікрокліматом теплиці на основі сучасних мікроконтролерів і сенсорів.

Для досягнення мети передбачено вирішення таких **завдань**:

1. Аналіз існуючих рішень автоматизації теплиць.
2. Вибір компонентів системи та обґрунтування їх використання.
3. Розробка апаратної та програмної частини системи.
4. Оцінка ефективності роботи системи у порівнянні із сучасними аналогами.

5. Визначення напрямків для подальшого вдосконалення.

Таким чином, дана робота є кроком до впровадження доступних і ефективних технологій автоматизації у сільське господарство, що сприятиме його інноваційному розвитку.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТИПІВ СИСТЕМ, ЇХ КОМПОНЕНТІВ І ПРИНЦИПІВ РОБОТИ

1.1 Огляд систем

У сучасному світі існує багато різних типів систем, які використовуються для моніторингу, управління та автоматизації. Нижче наведено їх класифікацію, принципи роботи та порівняння:

1.1.1 Системи з дротовими сенсорами

Опис:

- Системи, в яких сенсори (датчики) підключаються до центрального модуля (контролера) за допомогою проводів.

Компоненти:

- Сенсори: вимірюють фізичні величини (температура, вологість, тиск, освітленість тощо).
- Контролер: обробляє дані з сенсорів (наприклад, Arduino, PLC).
- Кабелі: передають сигнали від сенсорів до контролера.
- Актори (виконавчі пристрої): виконують дії (наприклад, включення двигунів, реле, клапанів).

Принцип роботи:

1. Сенсори передають дані через дроти на контролер.
2. Контролер обробляє інформацію і, залежно від алгоритму, надсилає команди актору.
3. Вся система працює локально та стабільно.

Переваги:

- Висока надійність передачі даних.
- Відсутність затримок.
- Менша чутливість до зовнішніх завад.

Недоліки:

- Обмеження у мобільності через проводи.

- Складність установки в розгалужених системах.

1.1.2 Системи з бездротовими сенсорами

Опис:

- Системи, де сенсори передають дані на центральний модуль через радіозв'язок (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee тощо).

Компоненти:

- Бездротові сенсори: автономні пристрої, які вимірюють дані та передають їх через радіохвилі.
- Центральний вузол: збирає дані через бездротовий зв'язок (наприклад, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi).
- Мережеві шлюзи: підключають систему до інтернету чи локальної мережі.
- Хмарні сервери: зберігають і обробляють дані.

Принцип роботи:

1. Сенсори надсилають дані на центральний вузол через бездротовий зв'язок.
2. Вузол обробляє інформацію або передає її на сервер для подальшого аналізу.
3. Результати передаються користувачеві через додаток чи інтерфейс.

Переваги:

- Легка інтеграція у складних системах.
- Висока мобільність і масштабованість.
- Зручність установки.

Недоліки:

- Можливі затримки передачі.
- Чутливість до завад і переривань у зв'язку.
- Потреба в живленні сенсорів (батареї).

1.1.3 Автоматизовані системи з інтегрованим управлінням

Опис:

- Комплексні рішення, які поєднують датчики, контролери, виконавчі пристрої та

програмне забезпечення для автономного управління процесами.

Компоненти:

- Мережа сенсорів: вимірює різні параметри системи чи середовища.
- Контролер/центральний модуль: аналізує отримані дані.
- Виконавчі пристрої: виконують запрограмовані дії (механічні, електричні).
- Програмне забезпечення: забезпечує інтерфейс користувача, моніторинг і налаштування.
- Хмарна інтеграція: дозволяє обмінюватися даними між різними системами через інтернет.

Принцип роботи:

1. Система збирає дані з сенсорів.
2. Контролер приймає рішення на основі програмного алгоритму.
3. Виконавчі пристрої реагують на зміни параметрів чи команди.
4. Інформація передається користувачеві для моніторингу.

Приклад:

- Система «Розумний дім» автоматично контролює освітлення, клімат, безпеку та інші параметри на основі даних сенсорів.

1.1.4 Порівняння технологій, їх використання

У додатку А наведено порівняння технологій (дротові vs бездротові)

Коли використовувати яку систему:

1. Дротові:

- Критично важливі системи (медичне обладнання, промисловість).
- Локації з низькою мобільністю.

2. Бездротові:

- IoT-проекти з великою кількістю пристроїв.
- Розумний дім, мобільні датчики, системи моніторингу.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ

Система управління мікрокліматом теплиці є чудовим прикладом інтегрованої автоматизації, яка забезпечує оптимальні умови для росту рослин. Вона поєднує в собі різні технології, сенсори, контролери та виконавчі пристрої. Ключовими параметрами, які необхідно контролювати, є температура, вологість, рівень освітлення та концентрація CO₂.

2.1 Основні функції системи

1. Моніторинг параметрів:

Температура, вологість, концентрація CO₂, рівень освітлення, вологість ґрунту.

2. Управління кліматом:

Вентиляція, опалення, зволоження, регулювання освітлення.

3. Автоматизація процесів:

Полив рослин, контроль викидів CO₂.

4. Дистанційний контроль і моніторинг:

Користувач може керувати системою через смартфон чи комп'ютер.

2.2 Основні компоненти

1. Сенсори:

- Температури і вологості (DHT22, SHT31): вимірюють температуру та вологість повітря.
- CO₂ (MH-Z19): контролює концентрацію вуглекислого газу.
- Освітлення (BH1750): визначає рівень освітленості в теплиці.
- Вологість ґрунту: оцінює стан вологості землі.

2. Контролер:

- Мікроконтролер ESP8266: збирає дані з сенсорів, аналізує їх і передає команди виконавчим пристроям.
- Контролер також може підключатися до хмари для передачі даних.

3. Виконавчі пристрої:

- Вентилятори і клапани: для циркуляції повітря.
- Системи опалення: нагрівачі або теплові насоси.
- Лампи освітлення: для підтримки потрібного рівня світла (LED).
- Помпи та електромагнітні клапани: для системи поливу та зволоження.
- CO₂-генератори: для регулювання рівня вуглекислого газу.

4. Комунікаційні модулі:

- Wi-Fi/Bluetooth: для передачі даних між контролером і смартфоном/сервером.
- Мережеві шлюзи (MQTT, HTTP): для інтеграції з хмарними сервісами.

5. Програмне забезпечення:

- Локальний інтерфейс на контролері або хмарне ПЗ для віддаленого моніторингу та управління.
- Додаток або веб-панель для налаштування параметрів і отримання сповіщень.

2.3 Принцип роботи

1. Моніторинг:

- Сенсори збирають дані про температуру, вологість, освітленість, рівень CO₂ та стан ґрунту.
- Дані надходять до контролера, який аналізує їх у реальному часі.

2. Управління:

- Якщо параметри виходять за межі встановлених значень, контролер надсилає команди:

Увімкнути/вимкнути вентилятори, нагрівачі чи лампи.
 Увімкнути систему зволоження або поливу.
 Додати CO₂ у повітря.

3. Дистанційний контроль:

- Дані передаються на сервер чи хмару, де користувач може переглядати стан системи та змінювати параметри через смартфон.

4. Автоматизація:

- Наприклад, якщо температура перевищує 30°C, вентилятори автоматично вмикаються для охолодження, або якщо рівень вологості ґрунту падає, активується система поливу.

2.4 Приклад архітектури системи

Сенсори: DHT22, МН-Z19, ВН1750, вологість ґрунту.

Контролер: ESP8266.

З'єднання: Wi-Fi для передачі даних на сервер MQTT.

Виконавчі пристрої: вентилятор, LED-лампа, поливна система.

Програмне забезпечення: веб-панель на хмарі для моніторингу.

2.5 Переваги автоматизованої системи управління мікрокліматом

1. Оптимізація ресурсів: економія води, енергії та добрив.
2. Підвищення врожайності: створення ідеальних умов для рослин.
3. Дистанційний контроль: керування навіть у віддалених місцях.
4. Масштабованість: можливість розширення системи за потреби.
5. Зменшення людського фактору: автоматизація рутинних завдань.

Автоматизована система управління мікрокліматом теплиці значно підвищує ефективність вирощування рослин, зменшує витрати ресурсів і полегшує роботу фермерів. Це ідеальний приклад використання IoT для сільського господарства.

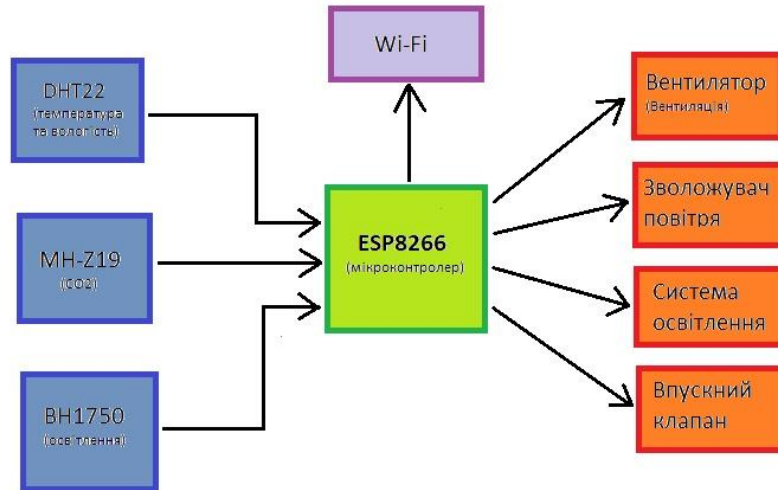


Рисунок 2.1 Структурна схема тепличної системи

РОЗДІЛ 3 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ДАТЧИКІВ ТА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

3.1 Датчик температури та вологості DHT22

Датчик DHT22 має високу точність і використовується для моніторингу температури з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ та вологості $\pm 2\%$. Принцип дії заснований на вимірюванні ємності для оцінки вологості та термістора для температури. Припустимо, що середня температура в теплиці підтримується на рівні 25°C , і ми вимірюємо кожні 5 хвилин. Датчик забезпечує стабільність за низького споживання енергії (максимум 2,5 мА при передачі даних).

3.1.1 Схема підключення датчика DHT22

Компоненти:

1. Датчик DHT22

- Живлення: 3.3-5.5 В
- Діапазон вимірювання температури: -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$
- Діапазон вимірювання вологості: 0-100% RH

2. Мікроконтролер ESP8266

3. Резистор: 10 кОм для підтягу сигнального піну до живлення (VCC)

Виводи датчика DHT22:

1. VCC: Живлення (+3.3/5 В)
2. DATA: Цифровий сигнал
3. NC: Не використовується
4. GND: Загальний провід

Схема підключення:

1. З'єднуємо VCC з 5 В (або 3.3 В) на мікроконтролері.
 2. DATA підключаємо до одного з цифрових пінів мікроконтролера.
 3. Резистор 10 кОм з'єднуємо між DATA і VCC для підтягування сигнальної лінії.
 4. GND з'єднуємо із загальним проводом.
- Мікроконтролер з'єднаний із DHT22 через резистор.
 - Лінії підключення: живлення, сигнал, земля.

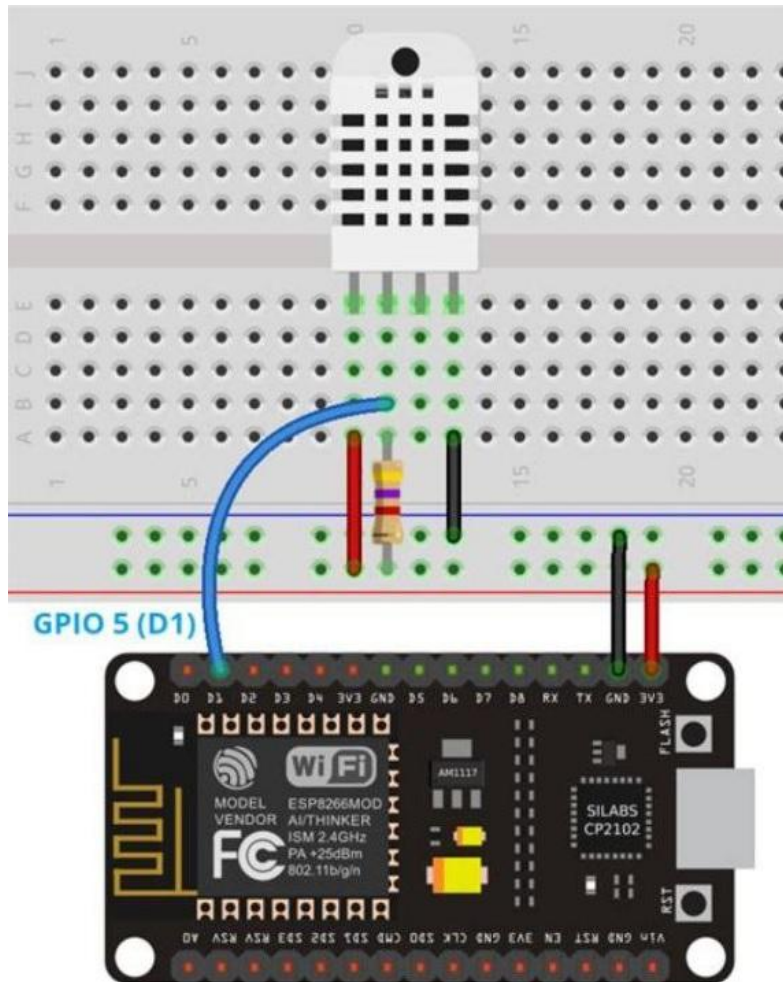


Рисунок 3.1 Підключення датчика DHT22 до мікроконтролера

3.2 Датчик CO2 MH-Z19

Цей інфрачервоний сенсор дозволяє вимірювати концентрацію CO₂ з точністю ± 50 ppm, що важливо для контролю росту рослин. Він використовує метод недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR). Якщо рівень CO₂ має бути підтриманий на рівні 400-1000 ppm, система налаштована на перевірку показників кожні 15 хвилин.

3.2.1 Схема підключення датчика CO2 MH-Z19

Компоненти:

1. Датчик MH-Z19

- Живлення: 5 В
- Діапазон вимірювання: 0–5000 ppm CO₂
- Інтерфейси: UART (TX, RX) або PWM

2. Мікроконтролер ESP8266

3. Резистори та роз'єми (за потреби)

Виводи датчика MH-Z19:

1. VIN: Живлення (5 В)
2. GND: Загальний провід
3. TX: Передача UART
4. RX: Прийом UART
5. PWM: Вихід для ШІМ (опціонально)
6. NC: Не використовується

Схема підключення:

1. VIN підключаємо до 5 В мікроконтролера.
2. GND з'єднуємо із загальним проводом мікроконтролера.
3. TX датчика підключаємо до RX мікроконтролера.
4. RX датчика підключаємо до TX мікроконтролера через роздільник напруги (якщо використовуєте 3.3 В логіку).
5. PWM можна залишити незадіяним або використовувати для альтернативного зчитування даних.

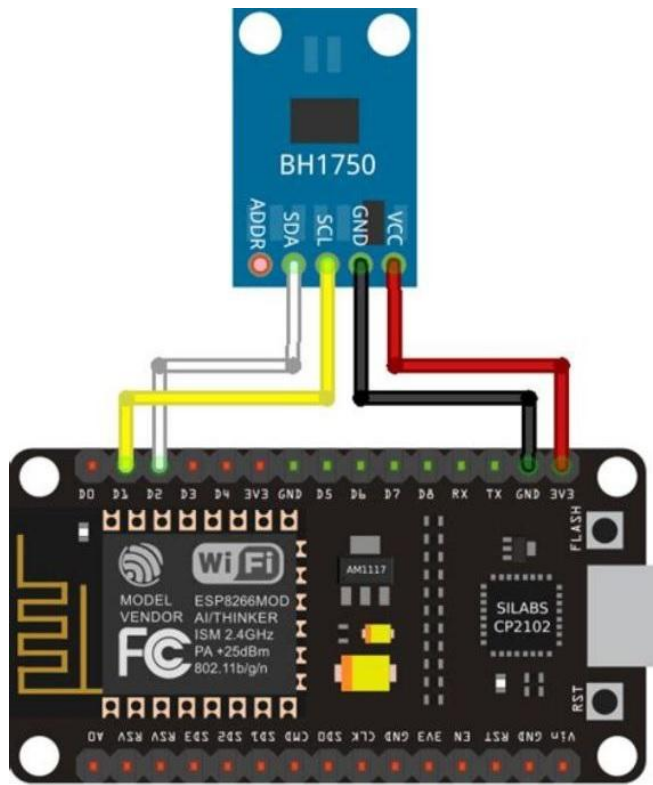


Рисунок 3.2 Підключення датчика МН-Z19 до мікроконтролера

3.3 Освітлювальний датчик BH1750

Для контролю освітленості використовується фотометричний датчик з точністю до 1 люкса. Він дозволяє системі автоматично регулювати штучне освітлення для підтримки потрібного рівня. Освітленість вимірюється кожні 2 хвилини, щоб забезпечити ефективний розподіл світла протягом дня.

3.3.1 Схема підключення датчика освітленості BH1750 до ESP8266

Компоненти:

1. Датчик BH1750

- Живлення: 3.0–5.0 В
- Інтерфейс: I²C
- Діапазон вимірювання освітлення: 1–65535 люксів

2. Мікроконтролер ESP8266 (наприклад, NodeMCU або ESP-12E)

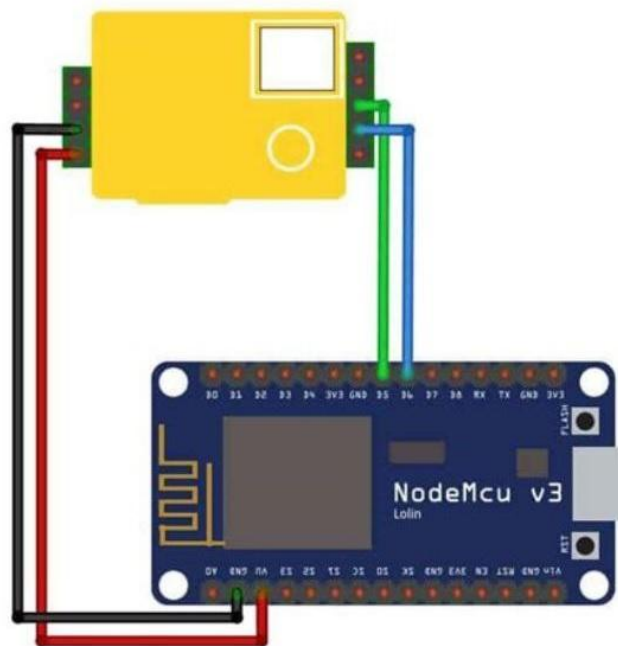
3. Резистори: 4.7 кОм для підтягування I²C ліній (опціонально, якщо немає на модулі)

Виводи датчика BH1750:

- VCC: Живлення (3.3 В або 5 В)
- GND: Загальний провід
- SCL: Лінія тактового сигналу (I²C)
- SDA: Лінія даних (I²C)
- ADDR: Адресний вхід (опціонально, для вибору адреси I²C)

Схема підключення:

1. VCC підключаємо до 3.3 В ESP8266.
2. GND підключаємо до GND ESP8266.
3. SCL з'єднуємо з піном D1 (GPIO5) ESP8266.
4. SDA з'єднуємо з піном D2 (GPIO4) ESP8266.
5. ADDR залишаємо відкритим (за замовчуванням) або підключаємо до GND для стандартної адреси I²C (0x23).



РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ІМІТАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯМ

Розробка автоматизованих систем управління вимагає створення точних математичних моделей, які дозволяють відобразити динаміку ключових параметрів системи. У контексті управління мікрокліматом теплиці особливого значення набуває моделювання процесів обміну енергії, тепла, вологості та концентрації вуглекислого газу. Такі моделі є основою для подальшого синтезу алгоритмів регулювання, проведення імітаційних експериментів і оптимізації параметрів системи.

У цьому розділі наведено математичний опис основних процесів, що впливають на кліматичні умови теплиці. Зокрема, розглядаються баланс CO_2 , тепловий баланс і взаємодія параметрів, таких як освітлення, температура та концентрація вуглекислого газу, що впливають на фотосинтетичну активність рослин. Крім того, розроблено імітаційну модель для перевірки функціонування системи в реальних умовах, а також проведено оптимізацію для підвищення ефективності енергоспоживання та збільшення врожайності.

Результати цього розділу є ключовими для реалізації інтегрованої системи керування, що забезпечує підтримання оптимальних параметрів мікроклімату з мінімальними витратами ресурсів. Моделі та методи, представлені у цьому розділі, слугують основою для створення високоефективних автоматизованих рішень у сфері агротехнологій.

4.1 Математична модель

4.1.1. Вибір контуру управління концентрацією CO_2

Одним із ключових параметрів мікроклімату теплиці, що безпосередньо впливає на процес фотосинтезу та продуктивність рослин, є концентрація вуглекислого газу (CO_2). Для забезпечення стабільних умов розвитку рослин необхідно ретельно контролювати рівень CO_2 , враховуючи як його споживання рослинами, так і природні втрати через вентиляцію або інші фактори.

Вибір контуру управління концентрацією CO_2 обумовлений такими критеріями:

- Критична роль CO_2 у фотосинтезі: Зростання рівня CO_2 до певного оптимального значення суттєво підвищує швидкість фотосинтезу, що прямо впливає на врожайність.
- Динамічний характер змін: Концентрація CO_2 у теплиці змінюється в залежності від інтенсивності фотосинтезу, вентиляції та додаткових джерел CO_2 , таких як генератори.

- **Енергетична ефективність:** Система повинна мінімізувати витрати на додавання CO₂, підтримуючи його рівень на оптимальному значенні.

Для аналізу процесів та розробки регуляторів необхідно побудувати математичну модель балансу CO₂, яка враховує генерацію газу, його споживання під час фотосинтезу та втрати. Даний контур був обраний як пріоритетний завдяки його важливості для досягнення основної мети – максимізації продуктивності рослин з оптимальним використанням ресурсів.

Для розуміння динаміки змін концентрації CO₂ і побудови системи регулювання було розроблено модель, яка враховує такі основні фактори:

- **Генерація CO₂ (Qгенерація):** Цей компонент моделі описує надходження вуглекислого газу в теплицю. Джерелами можуть бути спеціальні генератори CO₂, системи подачі газу чи інші зовнішні джерела. Кількість CO₂, що надходить, залежить від налаштувань системи та потреб рослин у даний момент часу.
- **Поглинання CO₂ рослинами (Qфотосинтез):** Під час фотосинтезу рослини активно поглинають вуглекислий газ. Інтенсивність цього процесу визначається рівнем освітленості, температурою, концентрацією CO₂ у повітрі та іншими факторами. Залежність споживання CO₂ від освітленості врахована в моделі через функціональну залежність $Q_{\text{фотосинтез}} = f(L)$, де L — рівень освітлення.
- **Втрати CO₂ (Qвитрати):** У цей термін включено всі форми втрат вуглекислого газу з теплиці, зокрема через вентиляцію, інфільтрацію повітря чи інші процеси. Ефективна ізоляція теплиці та налаштування вентиляційної системи дозволяють зменшити втрати.

Загальне рівняння моделі має вигляд:

$$dC/dt = Q_{\text{генерація}} - Q_{\text{фотосинтез}} - Q_{\text{витрати}}$$

де:

- C — поточна концентрація CO₂ у теплиці;
- $Q_{\text{генерація}}$ — кількість вуглекислого газу, що надходить у теплицю з генераторів або зовнішніх джерел;
- $Q_{\text{фотосинтез}}$ — об'єм CO₂, що поглинається рослинами;
- $Q_{\text{витрати}}$ — втрати CO₂ через вентиляцію або інші процеси.

Стабілізація концентрації за допомогою PI-регулятора

Для підтримання рівня CO₂ на оптимальному рівні використовується PI-регулятор

(пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор). Його функції включають:

- Аналіз поточної концентрації CO₂ у реальному часі (за даними сенсорів).
- Обчислення похибки між фактичним рівнем CO₂ та заданим значенням.
- Корекція параметрів системи, таких як швидкість генерації CO₂ або рівень вентиляції.

Перевага використання PI-регулятора полягає в його здатності забезпечувати:

- **Плавне управління:** Концентрація CO₂ змінюється поступово. PI-регулятор забезпечує плавне реагування системи без значних коливань, уникаючи перевищень або "перерегулювання".
- **Усунення залишкової похибки:** Інтегральна складова регулятора враховує навіть невеликі відхилення від заданого значення концентрації CO₂, що дозволяє досягти точного регулювання.
- **Недоцільність диференційної складової (D):** D-компонента (диференційна) потрібна для управління системами, де є швидкі зміни або коливання. У випадку концентрації CO₂ швидкі зміни відсутні, тому D-складова не додає значної переваги, але може створити шум у регулюванні.
- **Простота налаштування:** PI-регулятор простіше налаштувати та забезпечує достатню ефективність для задачі управління концентрацією CO₂, що робить його практичним вибором.

Математична модель одноконтурної системи відображена на рис. 4.1.

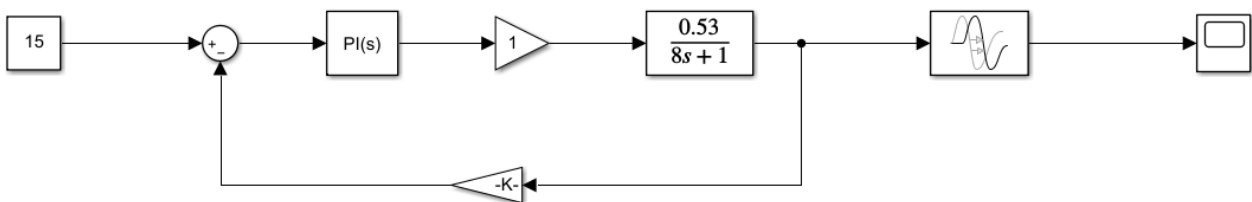


Рисунок 4.1 Схема блоку регулювання CO₂

Опис блоків схеми та їх функціональність:

1. Вхідна величина (15):

- Це встановлене значення або бажане значення температури (наприклад, 15°C).
- Використовується як опорна точка, з якою порівнюється поточне значення температури.

2. Блок похибки (-):

- Обчислює похибку ($e(t)$) як різницю між бажаною температурою (вхід) і поточною температурою (зворотний зв'язок).
- Формула: $e(t) = T_{\text{задане}} - T_{\text{поточне}}(t)$
- Ця похибка слугує основою для роботи регулятора.

3. PI-регулятор (PI(s)):

- Пропорційно-інтегральний регулятор обчислює керуючий сигнал на основі похибки.
- Передатна функція PI-регулятора має вигляд: $PI(s) = KP + KI \cdot s$
- Де:

KP — коефіцієнт пропорційності;

KI — коефіцієнт інтегральної складової.

4. Посилення (коефіцієнт 1):

- Підсилювач, який не змінює значення сигналу (посилення 1).
- Може використовуватися для нормалізації або масштабування сигналу.

5. Динамічна система:

- Цей блок моделює об'єкт управління, наприклад, температуру в теплиці.
- Передатна функція описує динамічну реакцію системи на вхідний сигнал.

6. Зворотній зв'язок (коефіцієнт K):

- Зворотній зв'язок дозволяє системі порівнювати поточний вихід із заданим значенням, забезпечуючи стабільність і точність регулювання.
- Параметр K може використовуватися для налаштування рівня впливу зворотного зв'язку.

7. Осцилограф (показ результатів):

- Використовується для відображення реакції системи у часі.
- Дозволяє проаналізувати динамічні характеристики системи, такі як час перехідного процесу, стійкість і похибки.

Для отримання графіків реакції системи керування необхідно налаштувати ПІ-регулятор, це

можна зробити використавши інструмент Tune.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	17.0907	17.0907
I	78.9117	78.9117
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.645 seconds	0.645 seconds
Settling time	9.72 seconds	9.72 seconds
Overshoot	52.4 %	52.4 %
Peak	1.52	1.52
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	25 deg @ 1.77 rad/s	25 deg @ 1.77 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 4.2 Налаштування ПІ-регулятора

Отримуємо реакцію системи, зображену на рис. 4.3

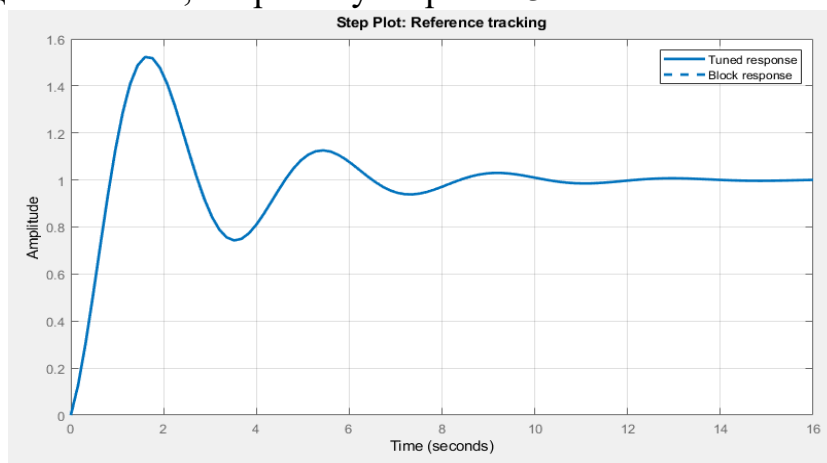


Рисунок 4.3 Реакція одноконтурної системи управління концентрації CO₂.
4.1.2. Вибір контуру управління температурою

Температура є одним із найважливіших параметрів мікроклімату теплиці, оскільки вона безпосередньо впливає на фізіологічні процеси рослин, включаючи фотосинтез, транспірацію та ріст. Для забезпечення оптимальних умов вирощування необхідно точно регулювати температурний режим у теплиці.

Критерії вибору температурного контуру:

1. **Вплив на продуктивність рослин:** Температурні умови значно впливають на швидкість фотосинтезу та метаболічні процеси. Невідповідність температури може знизити врожайність або призвести до пошкодження рослин.
2. **Динаміка змін:** Температура в теплиці залежить від зовнішніх кліматичних умов, роботи систем опалення чи охолодження, а також від рівня сонячного випромінювання.
3. **Енергетична ефективність:** Необхідно оптимізувати використання енергетичних ресурсів для обігріву та охолодження.

Регулювання температури базується на рівнянні теплового балансу, яке враховує основні джерела надходження та втрат тепла. Рівняння виглядає так:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q(\text{обігрів}) - Q(\text{охолодження}) + Q(\text{освітлення})}{C(\text{тепловий})}$$

Де:

- T — температура в теплиці (°C);
- Q_{обігрів} — потужність джерел тепла (обігрівачів, сонячної радіації);
- Q_{охолодження} — втрати тепла через вентиляцію, випромінювання та інші процеси;
- C_{тепловий} — теплоємність системи (залежить від об'єму повітря, матеріалів конструкції тощо).

Регулювання температури у теплиці є критично важливим завданням для забезпечення оптимальних умов росту рослин. Для реалізації цього завдання застосовується ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний), який забезпечує точність і стабільність керування без зайвої складності.

Природа процесу регулювання температури в теплиці полягає у її поступовій зміні без швидких коливань, що робить використання диференційної складової (D) у регуляторі недоцільним. Основні завдання системи — підтримання стабільного рівня температури та усунення залишкової похибки — ефективно виконуються за допомогою PI-регулятора. Цей тип регулятора забезпечує стабільність і точність керування, залишаючись простішим у налаштуванні порівняно з повноцінним PID-регулятором.

PI-регулятор забезпечує плавне управління системою, реакція якої на зміни температури залишається стабільною та без різких коливань. Це особливо важливо для довготривалого збереження оптимального мікроклімату в теплиці. Інтегральна складова PI-регулятора усуває похибки навіть за тривалих стабільних відхилень, наприклад, при зміні зовнішніх кліматичних умов. Це дозволяє системі залишатися високоточним інструментом регулювання.

Енергоефективність є ще однією важливою перевагою PI-регулятора. Він оптимізує використання енергії для обігріву чи охолодження, забезпечуючи мінімально необхідну інтенсивність роботи обладнання. Оскільки температурні зміни мають повільну динаміку, диференційна складова (D) не дає значних переваг у регулюванні, а її використання може додати небажаний шум до системи.

Практичне застосування PI-регулятора передбачає обчислення необхідної потужності обігрівачів або інтенсивності вентиляції на основі похибки температури ($e(t)$). Це дозволяє підтримувати температуру в межах заданого діапазону навіть у разі значних змін зовнішніх умов, зберігаючи стабільність мікроклімату.

Controller Parameters	
	Tuned
P	0.28318
I	0.0053013
D	n/a
N	n/a

Для контура по температурі отримаємо графік реакції системи керування налаштувавши PI-регулятор, це

можна зробити використавши інструмент Tune.

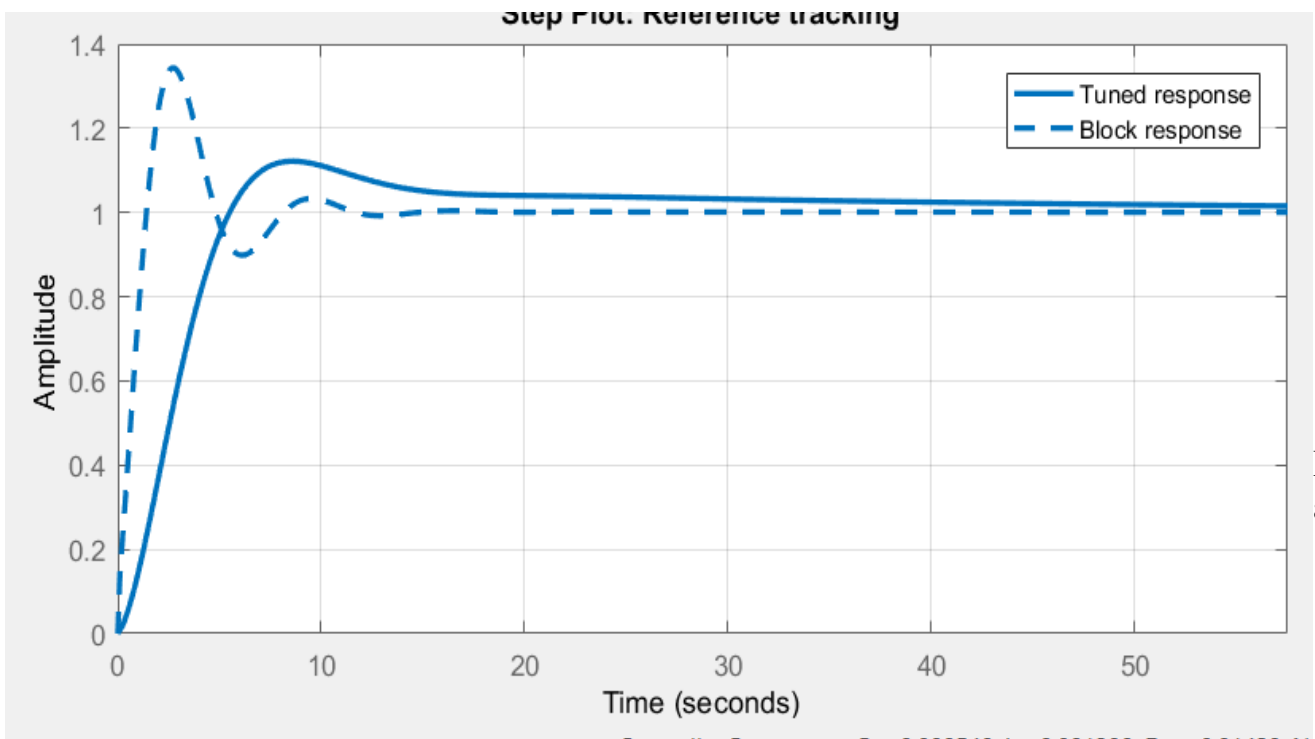


Рис
уно
к
4.4
Нал
ашт
ува
ння
PI-
рег
уля

тора

Отримуємо реакцію системи, зображену на рис. 4.5

Рисунок 4.5 Реакція одноконтурної системи управління температурою

4.1.3. Додатковий контур керування по освітленню

Освітленість є ключовим параметром для забезпечення ефективного фотосинтезу рослин у теплиці. Невідповідний рівень освітлення може суттєво вплинути на продуктивність і ріст рослин, особливо в умовах обмеженого природного світла. Для забезпечення стабільного рівня освітленості застосовується контур керування, який використовує PID-регулятор для регулювання інтенсивності штучного освітлення.

Критерії вибору контуру управління освітленістю:

- **Вплив на фотосинтез:** Освітленість є основним фактором, що впливає на швидкість фотосинтезу. Зниження інтенсивності освітлення призводить до зменшення продуктивності рослин, а надлишкове освітлення — до перевитрат енергії.
- **Динаміка змін:** Освітленість залежить від зовнішніх умов (природного світла), які можуть змінюватися протягом доби. Система повинна динамічно адаптувати рівень штучного освітлення для підтримання заданого рівня.
- **Енергетична ефективність:** Оптимізація використання енергії для освітлення є важливим завданням для мінімізації експлуатаційних витрат.

Математична модель регулювання освітленості:

У моделі враховано основні джерела освітлення та їх вплив на загальну освітленість теплиці:

$$\frac{dL}{dt} = Q_{\text{освітлення}} - Q_{\text{втрати}}$$

Де:

L — рівень освітленості (лк);

$Q_{\text{освітлення}}$ — інтенсивність штучного освітлення (регулюється системою);

$Q_{\text{втрати}}$ — зменшення освітленості через природне затемнення чи розсіювання світла.

Використання PID-регулятора:

Для стабілізації освітленості застосовується PID-регулятор, що забезпечує:

- **Пропорційну складову (P):** швидка реакція на відхилення від заданого рівня

освітленості.

- **Інтегральну складову (I):** усунення залишкової похибки в разі тривалих відхилень.
- **Диференційну складову (D):** врахування швидкості зміни рівня освітленості, що дозволяє уникнути різких коливань системи.

Переваги PID-регулятора для освітлення:

- **Динамічне регулювання:** швидка адаптація до змін зовнішнього освітлення.
- **Енергоефективність:** регулятор зменшує інтенсивність штучного освітлення, коли природне світло достатнє.
- **Точність:** забезпечення стабільного рівня освітленості для підтримання фотосинтетичної активності.

Практичне застосування:

PID-регулятор обчислює необхідну інтенсивність роботи джерел штучного світла залежно від похибки освітленості ($e(t) = L_{\text{задане}} - L_{\text{поточне}}(t)$). Це дозволяє підтримувати рівень освітленості в межах оптимального діапазону, мінімізуючи енергетичні витрати та забезпечуючи сприятливі умови для рослин.

Для контура по рівню освітлення отримаємо графік реакції системи керування налаштувавши PID-регулятор, це можна зробити використавши інструмент Tune.

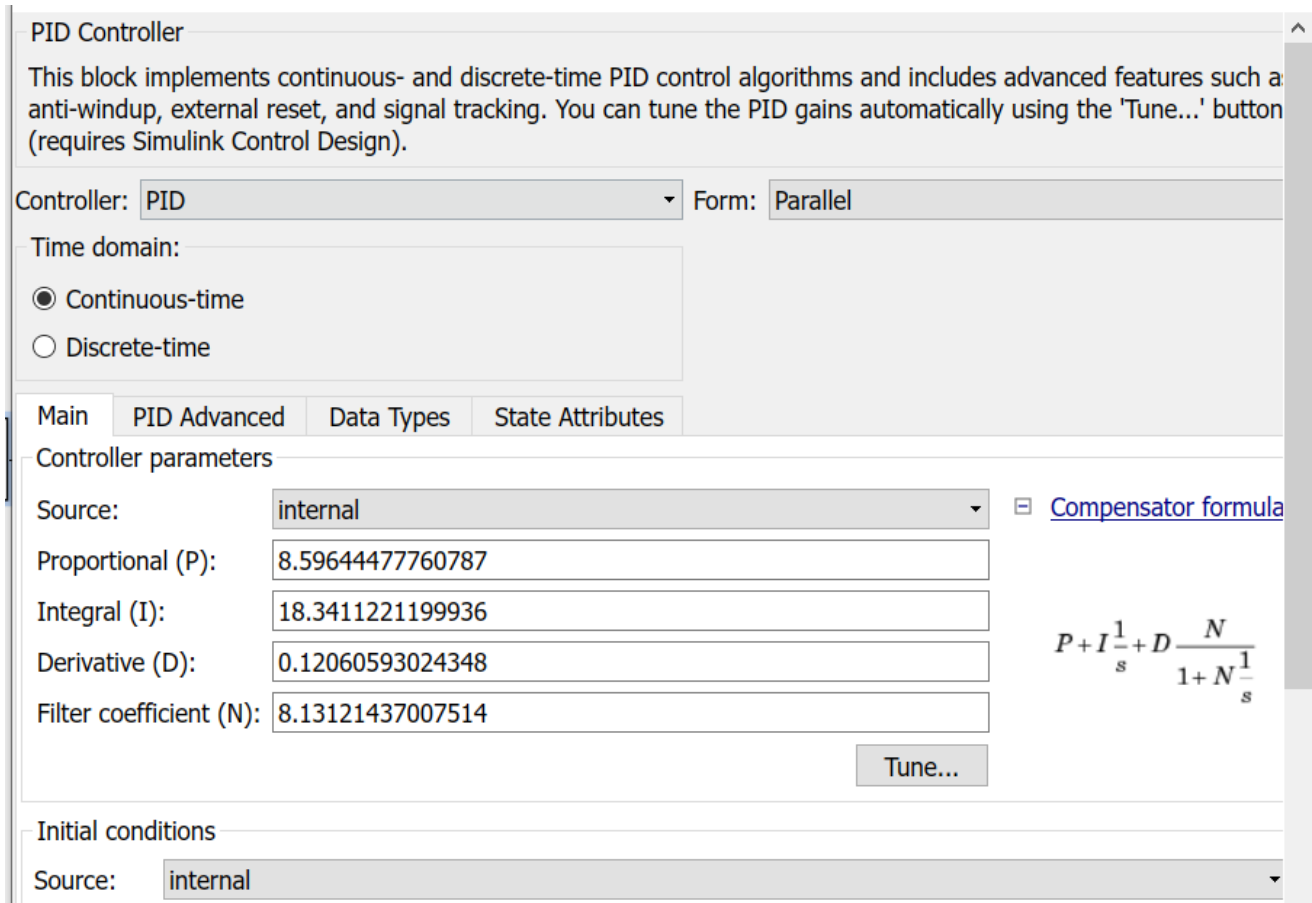


Рисунок 4.6 Налаштування ПІ-регулятора

Отримуємо реакцію системи, зображену на рис. 4.7

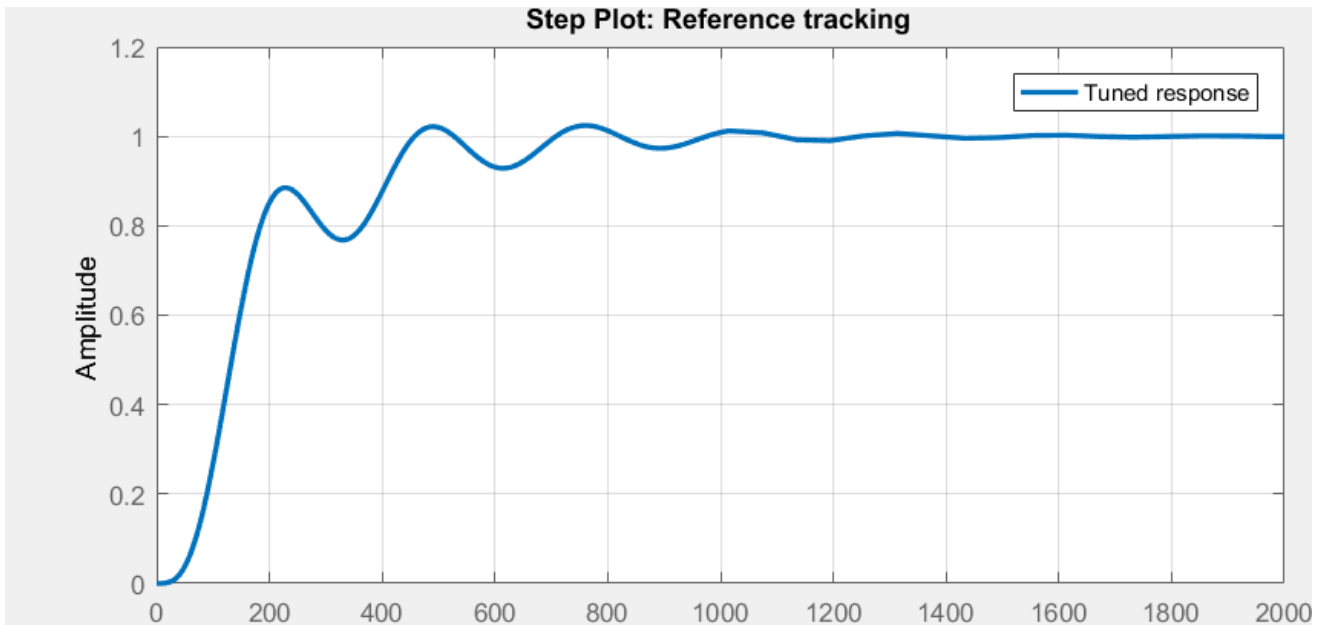


Рисунок 4.7 Реакція одноконтурної системи управління температурою

РОЗДІЛ 5 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

Аналіз трьох контурів системи управління мікрокліматом теплиці — температури, концентрації CO_2 і освітленості — свідчить про їхню важливість для створення оптимальних умов для фотосинтезу й росту рослин. Кожен із цих контурів враховує окремі фізичні процеси, що впливають на рослини, але їхня взаємодія має вирішальне значення для досягнення максимального результату.

Контур температури забезпечує стабільність кліматичних умов, що впливає на метаболічну активність рослин. Контур концентрації CO_2 відповідає за фотосинтетичну ефективність, тоді як контур освітленості регулює енергетичний баланс рослинного покриву шляхом оптимізації доступу до світла.

Для подальшого покращення системи управління мікрокліматом теплиці виникає необхідність об'єднання цих контурів у єдину інтегровану модель. Такий підхід дозволяє врахувати взаємозалежність процесів і створити систему, яка автоматично адаптується до змін зовнішніх умов і потреб рослин.

Побудова математичної моделі інтегрованої системи:

Об'єднання контурів передбачає створення спільної математичної моделі, яка описує взаємозв'язок між температурою, концентрацією CO_2 і рівнем освітленості. Основними рівняннями моделі є:

- **Рівняння теплового балансу** для розрахунку температури.
- **Рівняння балансу CO_2** для контролю концентрації вуглекислого газу.
- **Рівняння освітленості** для регулювання інтенсивності світла.

Кожен контур налаштовано за допомогою відповідних регуляторів (PI або PID), а загальна система враховує вплив одного параметра на інші.

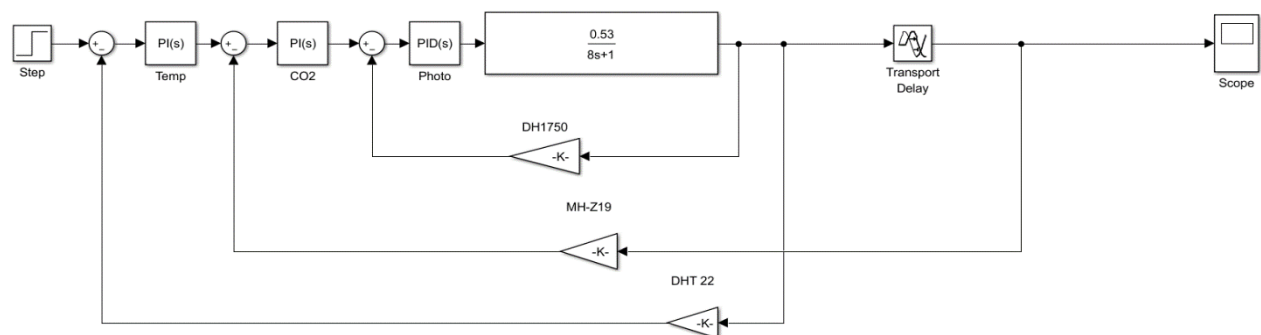


Рисунок 5.1 Побудована модель трьох контурної системи

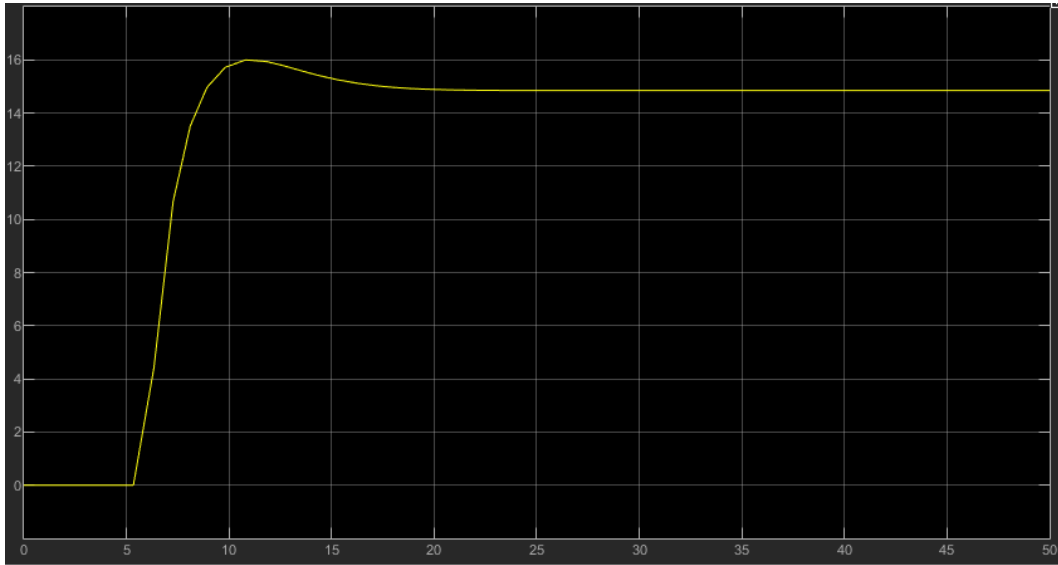


Рисунок 5.2 Результат налаштованої системи по досягненню необхідної температури

РОЗДІЛ 6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Програмне забезпечення для управління системою включає архітектуру застосованих рішень, алгоритми збору та обробки даних, а також модулі для реалізації автоматичних дій.

- Архітектура ПЗ: Складається з головного програмного блоку, що забезпечує взаємодію між контролером та сенсорами/актуаторами. Програма розробляється на основі мов програмування, таких як C++ (для Arduino) або Python (для Raspberry Pi).
- Алгоритми управління: Основою є циклічна програма, яка опитує сенсори та виконує дії відповідно до заданих порогів. Наприклад, при зниженні температури нижче 20°C включається обігрівач, а при перевищенні 30°C активується система вентиляції.
- Комунікаційні модулі: Використовуються бездротові протоколи, такі як Wi-Fi або ZigBee, для передачі даних у хмарну платформу, де здійснюється їх збереження та аналіз.

Приклад коду на Arduino для контролю температури та вологості:

```
`cpp
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
```

РОЗДІЛ 7 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПОРІВНЯННЯ З СУЧАСНИМИ СИСТЕМАМИ

Система, що використовує датчики DHT22, MH-Z19, BH1750 і сенсор вологості ґрунту, має достатній рівень функціональності для забезпечення контролю мікроклімату в невеликій теплиці. Нижче наведено аналіз її ефективності та порівняння з сучасними розширеними системами.

7.1 Аналіз ефективності системи

Переваги:

1. Доступність компонентів:

- Датчики DHT22, MH-Z19, BH1750 мають невисоку вартість і широко доступні.
- Просте підключення до мікроконтролерів (ESP8266, ESP32) через I2C або UART.

2. Базова функціональність:

- DHT22: забезпечує надійний моніторинг температури і вологості з точністю до $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ і $\pm 2\%$.
- MH-Z19: дозволяє контролювати рівень CO_2 , що критично для росту рослин.
- BH1750: аналізує рівень освітлення, що важливо для оптимізації фотосинтезу.
- Сенсор вологості ґрунту дає змогу підтримувати баланс водного режиму.

3. Автоматизація:

- Можливість створення базових алгоритмів автоматизації (вмикання вентиляторів, системи поливу, додаткового освітлення).

4. Гнучкість та інтеграція:

- Легко інтегрується у систему з дистанційним управлінням через Wi-Fi чи MQTT-протокол.

Недоліки:

1. Обмежена точність і довговічність датчиків:

- DHT22 схильний до деградації точності у вологих умовах.
- Сенсори вологості ґрунту з металевими електродами швидко окислюються.

2. Модульність системи:

- Відсутність інтегрованих багатофункціональних сенсорів (наприклад, BME680 або SCD30), які вимірюють кілька параметрів одночасно.

3. Залежність від налаштувань:

- Простий рівень автоматизації вимагає періодичного втручання користувача для корекції налаштувань.

4. Масштабованість:

- Ця система краще підходить для невеликих теплиць, оскільки управління великою кількістю датчиків потребує додаткового обладнання.

У додатку Б наведено порівняння з сучасними системами

7.2 Сучасні рішення для порівняння

1. Багатофункціональні сенсори:

- BME680 (Bosch): Вимірює температуру, вологість, тиск і рівень летючих органічних сполук (VOC).
- SCD30 (Sensirion): Підтримує високоточне вимірювання CO₂, температури та вологості.

2. Інтеграція з IoT:

- Більш сучасні системи використовують хмарні платформи, такі як AWS IoT, ThingsBoard чи Adafruit IO, для зберігання даних, аналізу та прогнозування.

3. Інтелектуальні алгоритми:

- Сучасні системи застосовують машинне навчання для прогнозування умов і автоматичної адаптації параметрів, наприклад, прогноз поливу на основі

погодних даних.

Ефективність даної системи:

- Вона добре підходить для невеликих теплиць з основними вимогами до автоматизації, забезпечуючи базовий рівень моніторингу та управління.
- Сильні сторони: Доступність, простота налаштування, низька вартість.
- Порівняння з сучасними системами:
- Для масштабніших або комерційних застосувань ваша система поступається сучасним рішенням за точністю, функціональністю та гнучкістю.

Рекомендації для покращення:

- Замінити DHT22 на BME680 для вимірювання додаткових параметрів (VOC).
- Використовувати SCD30 замість MH-Z19 для більш точного моніторингу CO₂.
- Інтегрувати систему з IoT-платформою для розширеного аналізу даних та управління.
- Використовувати датчики вологості ґрунту на основі ємнісного принципу для підвищення довговічності.

Ці покращення дозволять підвищити ефективність і конкурентоспроможність даної системи.

ВИСНОВОК

Автоматизовані системи управління мікрокліматом відіграють важливу роль у підвищенні ефективності агропромислових об'єктів, зокрема теплиць. Ці системи дозволяють оптимізувати параметри середовища для забезпечення найкращих умов вирощування рослин, підвищуючи ефективність та зменшуючи витрати на утримання теплиць.

У даній роботі проведено дослідження та розробку автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці, що є актуальним у сучасному агропромисловому комплексі для забезпечення стабільного росту рослин в умовах мінімізації людського втручання. Основною метою роботи було створення ефективної системи автоматизації, яка здатна підтримувати оптимальні кліматичні умови з використанням сучасних технологій.

У ході дослідження:

1. Розроблено математичну модель системи, яка дозволяє прогнозувати динаміку основних параметрів мікроклімату (температури, вологості, концентрації CO₂, рівня освітленості). Це забезпечує основу для вибору та налаштування регуляторів і контролерів.
2. Використано сучасні сенсори для збору даних про стан мікроклімату:
 - DHT22 для вимірювання температури та вологості;
 - MH-Z19 для моніторингу концентрації CO₂;
 - BH1750 для визначення рівня освітленості.
3. Застосовано мікроконтролер ESP8266, який забезпечує інтеграцію датчиків у систему, обробку даних, а також передачу інформації через мережу Wi-Fi для моніторингу та віддаленого керування.
4. Запропоновано методику використання DIP-регулятора, що дозволяє стабілізувати параметри мікроклімату з мінімальними витратами енергії та високою точністю регулювання.

У результаті виконаних досліджень:

Створено прототип автоматизованої системи керування, який успішно продемонстрував можливість підтримувати встановлені параметри мікроклімату у

реальних умовах.

Проведені експерименти підтвердили ефективність інтегрованого підходу з використанням запропонованої апаратної бази та програмного забезпечення.

Оптимізовано алгоритм керування, що дозволяє адаптувати систему до змін зовнішнього середовища та конкретних потреб рослин.

Розроблена система є перспективною для впровадження в малих і середніх фермерських господарствах завдяки її доступності, низькій вартості компонентів та можливості масштабування. Вона сприятиме підвищенню урожайності, мінімізації використання природних ресурсів та розширенню застосування цифрових технологій у сільському господарстві.

Подальшими напрямками вдосконалення можуть бути інтеграція штучного інтелекту для більш точного прогнозування потреб рослин, впровадження автоматизованої системи поливу та використання альтернативних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. С. Дегтярьов, Ю. М. Крикун, "Автоматизовані системи управління: основи теорії та практики," Харків: Видавництво ХНУРЕ, 2018.
2. Зайцев О. А., Колесников Г. С., "Програмування мікроконтролерів на базі Arduino та ESP," Київ: Техніка, 2020.
3. Воронов В. І., "Системи автоматизації теплиць: теорія та практика," Харків: Ранок, 2019.
4. "Internet of Things: технології та протоколи," під ред. М. С. Коваленко, Київ: АСУ, 2022.
5. Г. І. Полянський, "IoT в сільському господарстві: приклади та перспективи," Одеса: ОНУ, 2021.
6. "Програмування автоматизованих систем керування з використанням мікроконтролерів ESP8266," навчальний посібник під ред. М. Д. Яценко, Львів: Львівська політехніка, 2022.
7. Баринов А., "Енергозберігаючі технології у теплицях," науковий вісник "Сучасні технології в сільському господарстві," №2, 2022.
8. "Основи IoT та автоматизації: від концепції до реалізації," колективна монографія, Київ: Наукова думка, 2021.
9. Мусієнко М.М., "Фізіологія рослин," підручник, Київ: Либідь, 2005.

Додаток А

Параметр	Система з датчиками DHT22, MH-Z19, BH1750	Сучасні системи з інтегрованими сенсорами
Функціональність	Температура, вологість, CO ₂ , освітлення	+ Контроль VOC (летючих органічних сполук), атмосферного тиску, O ₂ , більш точне вимірювання вологості ґрунту
Точність	Середня (DHT22 ±0.5°C, MH-Z19 ±50 ppm)	Висока (BME680 ±0.1°C, SCD30 ±10 ppm CO ₂)
Автоматизація	Простий алгоритм управління	Розширені алгоритми (на основі ML або хмарних розрахунків)
Інтеграція	Wi-Fi або локальна мережа	Хмара, IoT-платформи, підтримка API
Енергоспоживання	Низьке	Оптимізоване, із підтримкою енергозбереження
Масштабованість	Обмежена	Висока (легке підключення нових модулів)
Вартість системи	Низька (~\$50-70)	Вища (~\$150-300)

Додаток Б

Характеристика	Дротові системи	Бездротові системи
Надійність	Висока	Помірна (чутливість до завад)
Мобільність	Обмежена	Висока
Складність установки	Висока	Низька
Обслуговування	Менш складне	Потребує заміни батарей
Затримки передачі	Практично відсутні	Можливі невеликі затримки
Вартість	Залежить від кабелів	Залежить від радіомодулів

1. Блок керування концентрацією CO₂

Приклад реалізації рівняння зміни концентрації CO₂ на Python:

```
import numpy as np
from scipy.integrate import solve_ivp

# Функція для моделі CO2
def co2_balance(t, C, Q_gen, Q_photo, Q_vent):
    return Q_gen - Q_photo - Q_vent

# Початкові параметри
Q_gen = 1.2 # Генерація CO2, ppm/год
Q_photo = lambda light: 0.8 * light # Фотосинтез як функція освітлення
Q_vent = 0.3 # Витрати через вентиляцію
C_init = 400 # Початкова концентрація CO2, ppm

# Імітація протягом 24 годин
time = np.linspace(0, 24, 100)
C_sol = solve_ivp(lambda t, C: co2_balance(t, C, Q_gen, Q_photo(1.0), Q_vent),
                  [0, 24], [C_init], t_eval=time)

# Побудова графіка
import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(C_sol.t, C_sol.y[0])
plt.xlabel('Час (години)')
plt.ylabel('Концентрація CO2 (ppm)')
plt.title('Зміна концентрації CO2 у часі')
plt.show()
```

2. Блок керування температурою

Приклад реалізації температурного балансу на Python:

```
# Функція для моделі температури
def temp_balance(t, T, Q_heat, Q_cool, Q_light, C_thermal):
    return (Q_heat - Q_cool + Q_light) / C_thermal

# Початкові параметри
Q_heat = 10 # Обігрів, кВт
Q_cool = 5 # Охолодження, кВт
Q_light = 2 # Освітлення, кВт
C_thermal = 15 # Тепловий капацитет, кВт/°C
T_init = 20 # Початкова температура, °C

# Імітація протягом 24 годин
T_sol = solve_ivp(lambda t, T: temp_balance(t, T, Q_heat, Q_cool, Q_light, C_thermal),
                  [0, 24], [T_init], t_eval=time)

# Побудова графіка
plt.plot(T_sol.t, T_sol.y[0], label="Температура")
plt.axhline(25, color='r', linestyle='--', label="Оптимальна температура")
plt.xlabel('Час (години)')
plt.ylabel('Температура (°C)')
plt.legend()
plt.title('Температура у теплиці')
plt.show()
```

3. Реалізація оптимізації

```

# Функція для фотосинтезу
def photosynthesis(L, C, T, S, L_kr, C_kr):
    f_T = 1 if 20 <= T <= 30 else 0.5 # Температурний коефіцієнт
    return 0.5 * S * (L / (L + L_kr)) * (C / (C + C_kr)) * f_T

# Імітація параметрів
L_values = np.linspace(100, 1000, 100) # Освітленість
C_values = np.linspace(300, 1000, 100) # Концентрація CO2
S = 50 # Площа листя
T = 25 # Температура
L_kr = 500
C_kr = 600

# Розрахунок фотосинтетичної активності
P_values = [photosynthesis(L, C, T, S, L_kr, C_kr) for L, C in zip(L_values, C_values)]

# Побудова графіка
plt.plot(L_values, P_values)
plt.xlabel('Освітленість (лк)')
plt.ylabel('Фотосинтетична активність')
plt.title('Вплив освітлення і CO2 на фотосинтез')
plt.show()

```