

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

в.о. зав. каф. АСНК Галина БОГДАН

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: « Система контролю мікроклімату в теплиці »

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПМ-11

Тітов Даниїл Юрійович

Керівник:

асистент

Драчук Олеся Олександрівна

Рецензент:

доцент каф. КІТВП, к.т.н., доцент

Барандич Катерина Сергіївна

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ПМ-11.11.22.000 ПЗ	Пояснювальна записка	60	
3	A1	ДП.ПМ-11.11.22.000 ПС	Принципова схема	1	
4	A1	ДП.ПМ-11.11.22.000 БСА	Блок-схема алгоритму	1	
5	A1	ДП.ПМ-11.11.22.000 СК	Складальне креслення	1	
6	A1	ДП.ПМ-11.11.22.000 СП	Специфікація	1	
7	A1	ДП.ПМ-11.11.22.001	Корпус	1	
8	A1	ДП.ПМ-11.11.22.002	Кришка	1	

				ДП.ПМ-11.11.22.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Тітов			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Драчук О.О				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система контролю мікроклімату в теплиці»

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. зав. каф. АСНК Галина БОГДАН

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Тітову Даниїлу Юрійовичу

1. Тема проєкту «Система контролю мікроклімату в теплиці»

Керівник проєкту Драчук Олеся Олександрівна, асистент

Затверджено наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1765с

2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту : площа укриття не менше 15 м², до 10 людей, захист від хімічних та біологічних забруднень

4. Зміст пояснювальної записки:

- 1.1. Аналіз вимог до мікроклімату в теплицях
- 1.2. Огляд необхідних складових елементів системи автоматизованого забезпечення мікроклімату в теплиці
- 1.3. Розробка принципової та структурної схеми системи контролю мікроклімату в теплиці.
- 1.4. Розробка алгоритму роботи та коду програмного забезпечення мікроконтролера автоматизованої системи контролю мікроклімату.
- 1.5. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): *Складальне креслення корпусу блока керування, деталювання, принципова та структурна схема системи забезпечення якості повітря, програмний алгоритм блока керування, 5 форматів А1*

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	<i>Підбір та аналіз літератури</i>	<i>до 01.03.2025 р.</i>	
2.	<i>Аналіз вимог до мікроклімату в теплицях</i>	<i>до 20.03.2025 р.</i>	
3.	<i>Огляд необхідних складових елементів системи автоматизованого забезпечення мікроклімату в теплиці</i>	<i>до 5.04.2025 р.</i>	
4.	<i>Розробка принципової та структурної схеми системи контролю мікроклімату в теплиці.</i>	<i>до 10.04.2025 р.</i>	
5.	<i>Розробка алгоритму роботи автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці</i>	<i>до 01.05.2025 р.</i>	
6.	<i>Створення 3Д моделі корпусу блока керування</i>	<i>до 10.05.2025 р.</i>	
7.	<i>Написання коду програмного забезпечення мікроконтролера</i>	<i>до 20.05.2025 р.</i>	
8.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів. Відгук керівника ДП</i>	<i>до 03.06.2025 р.</i>	
9.	<i>Перевірка на плагіат, рецензування</i>	<i>до 07.06.2025 р.</i>	
10.	<i>Захист</i>	<i>з 16.06.2025 р. по 19.06.2025 р.</i>	

Студент

Даниїл ТІТОВ

Керівник

Олеся ДРАЧУК

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розглянуто проєктування та реалізацію автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці. Основна мета роботи — підвищення ефективності агровиробництва шляхом моніторингу та підтримки оптимальних кліматичних умов для росту рослин. Описано вибір сенсорів температури, вологості повітря, вмісту CO₂ та вологості ґрунту, а також способи їх інтеграції з мікроконтролером Arduino Nano. Розроблено алгоритм керування кліматичними параметрами та структуру програмного забезпечення. Проведено порівняльний аналіз альтернативних технічних рішень. Робота має прикладне значення для впровадження систем точного землеробства у невеликих аграрних господарствах.

Ключові слова: мікроклімат, теплиця, сенсори, Arduino Nano, автоматизація, контроль температури, контроль вологості, CO₂.

ABSTRACT

The thesis presents the design and implementation of an automated greenhouse microclimate control system. The main objective of the project is to improve agricultural productivity by monitoring and maintaining optimal environmental conditions for plant growth. The work describes the selection of temperature, humidity, CO₂ concentration, and soil moisture sensors, as well as their integration with an Arduino Nano microcontroller. A control algorithm and software structure for microclimate regulation are developed. A comparative analysis of alternative technical solutions is provided. The project has practical value for implementing precision agriculture systems in small-scale farming operations.

Keywords: microclimate, greenhouse, sensors, Arduino Nano, automation, temperature control, humidity control, CO₂.

ВСТУП.....	10
1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ.....	12
1.1. Поняття мікроклімату та його роль у вирощуванні	12
1.2. Температурне регулювання у теплиці	13
1.3. Контроль вологості та керування зволоженням	13
1.4. Освітлення в умовах контрольованого середовища.....	14
1.5. Керування концентрацією вуглекислого газу	15
1.6. Система вентиляції.....	16
1.7. Автоматизована система керування мікрокліматом	16
2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	17
2.1. Загальні принципи контролю мікроклімату	17
2.2. Класифікація систем контролю мікроклімату	17
2.3. Технічні рішення та платформи автоматизації	18
2.4. Порівняльна оцінка підходів до автоматизації.	19
3. СТРУКТУРНА СХЕМА	22
4. ВИБІР КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ.....	25
4.1 Мікроконтролер.....	25
4.2. Дисплей	26
4.3 Датчики	28
4.3.1 Датчик температури та вологості	28
4.3.2 Виносний сенсор температури	29

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Тітов Д.Ю				Система контролю мікроклімату в теплиці		
Перевір.	Драчук О.О						
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літера	Аркуш	Аркушів
						8	60
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
					Каф. АСНК; Гр. ПМ-11		

4.3.3 Датчик углекислого газа.....	31
4.3.4 Датчик вологості ґрунту.....	33
4.3.5 Датчик освітленості	35
4.3.6 Керуючий елемент	37
4.4 Модулі	39
4.4.1 Модуль часу.....	39
4.4.2 Група реле	41
4.5 Об'єкти керування.....	43
4.5.1 Вентилятор.....	43
4.5.2 Насос для води.....	45
4.5.3 Освітлення.....	47
4. ПРИНЦИПОВА СХЕМА	49
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	52
ВИСНОВОК.....	57
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

У сучасному аграрному виробництві спостерігається стрімкий перехід від традиційних методів до високотехнологічних рішень, що базуються на автоматизації, цифровізації та принципах сталого розвитку. Зростаючі вимоги до ефективності сільськогосподарських процесів, необхідність економії ресурсів, а також посилений попит на якісну й екологічно чисту продукцію стимулюють впровадження інновацій у різних сферах аграрної діяльності. Однією з найбільш динамічно розвинутих і перспективних галузей є тепличне господарство, де застосування сучасних автоматизованих систем контролю мікроклімату дозволяє досягати стабільних результатів у вирощуванні культур незалежно від погодних і сезонних умов.

Забезпечення стабільного та оптимального мікроклімату в теплиці є ключовим фактором успішного розвитку рослин. Для цього використовуються інтелектуальні системи, здатні автоматично контролювати та регулювати температуру, вологість повітря, рівень освітлення, концентрацію вуглекислого газу, а також керувати вентиляцією, поливом і, за потреби, живленням рослин. Застосування таких технологій не лише покращує врожайність і якість продукції, але й значно скорочує витрати на енергоресурси, зменшує потребу в ручній праці, дозволяє оперативно реагувати на зміни середовища та знижує ризики, пов'язані з несприятливими кліматичними умовами.

В умовах глобальних кліматичних змін та підвищеного навантаження на агросектор, автоматизовані системи контролю мікроклімату стають невід'ємною частиною сталого і конкурентоспроможного сільського господарства. Їх використання сприяє переходу до більш точного та науково обґрунтованого землеробства, в якому кожен параметр середовища підлягає моніторингу та регулюванню з високою точністю. Особливо актуальним є впровадження таких систем у невеликих та середніх тепличних господарствах, де за допомогою доступних мікроконтролерів та сенсорів можна досягти істотного підвищення ефективності без значних фінансових витрат.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						10
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою цієї дипломної роботи є дослідження сучасних технологій побудови систем контролю мікроклімату в теплицях, а також розробка і практична реалізація власної моделі на базі мікроконтролерів, сенсорних пристроїв і програмного забезпечення. У роботі розглянуто технічні особливості побудови таких систем, принципи їх функціонування, засоби інтеграції в існуючу інфраструктуру, а також їх переваги, недоліки й перспективи подальшого розвитку. Особлива увага приділяється практичним аспектам реалізації автоматизованого контролю та управління параметрами мікроклімату, що дозволяє не лише забезпечити ефективну підтримку оптимальних умов для вирощування рослин, а й створити основу для масштабованих і гнучких аграрних технологічних рішень.

.

					<i>ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ

1.1. Поняття мікроклімату та його роль у вирощуванні

Мікроклімат у теплиці[1] — це сукупність внутрішніх параметрів середовища, які впливають на фотосинтетичну активність, вегетацію та розвиток рослин. Основними з них це визначення показників температури повітря і ґрунту, вологість повітря, концентрація вуглекислого газу та ступінь зволоження ґрунту, швидкості повітряного потоку, а також баланс денного і нічного режимів. Усі ці фактори в умовах контрольованого середовища не просто спостерігаються, а активно регулюються спеціалізованими системами управління, які забезпечують сталу відповідність параметрам, необхідним для конкретної культури.



Рисунок 1.1- Вигляд мікроклімату в теплиці

Для зниження впливу зовнішнього клімату, конструкція теплиці виконується з урахуванням теплоізоляції, прозорості покриття в зоні фотосинтетично активного спектра (400–700 нм), а також з можливістю механізованого керування вентиляційними отворами, шторами і приводами. Промислові тепличні комплекси обладнуються автоматизованими системами мікроклімату, які використовують багаторівневу сенсорну мережу, виконавчі пристрої та інтелектуальні контролери[2].

1.2. Температурне регулювання у теплиці

Температурний режим підтримується шляхом динамічного управління джерелами тепла або охолодження, відповідно до температури повітря і ґрунту. У холодний період основною системою є водяне опалення з використанням теплоносія, який циркулює по трубах, розміщених вздовж рядів або під ґрунтом. В системі встановлюються циркуляційні насоси, термостатичні клапани, а також регулювальні вузли з можливістю керування потоком. Типовий температурний датчик, який використовується для моніторингу повітря — цифровий DS18B20[3] або терморезистори[4] типу Pt100 з аналоговим виходом 4–20 мА. Для ґрунту застосовуються герметичні сенсори з високим класом захисту IP67[5].

У теплу пору року або при перегріванні внутрішнього середовища активується система охолодження, яка включає в себе випарні панелі з циркулюючою водою, примусову вентиляцію або високонапірні аерозольні форсунки. Принцип роботи випарного охолодження полягає у зниженні температури повітря за рахунок випаровування води через спеціальну целюлозну панель, що охолоджується зворотною водою. Продуктивність таких систем варіюється від 5 до 15 л/м²/год, залежно від температури навколишнього повітря.

1.3. Контроль вологості та керування зволоженням

Вологість повітря у теплиці є критично важливим параметром, особливо при вирощуванні культур з тонкою поверхнею листа або рослин, чутливих до грибкових захворювань. Для її визначення застосовуються цифрові сенсори типу SHT31[6] або комбіновані пристрої з температурно-вологісним модулем. Точність вимірювання зазвичай не нижче $\pm 2\%$ RH при температурному діапазоні від -40 до +80 °C. Передача сигналу здійснюється або в цифровому протоколі I²C, або у вигляді аналогового сигналу 0–10 В або 4–20 мА для підключення до ПЛК.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						13
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 - Регулювання та контроль вологості

Система зволоження реалізується за допомогою високочастотних ультразвукових генераторів туману або форсункових систем високого тиску. Принцип керування полягає у періодичному вмиканні пристроїв залежно від уставок, заданих у контролері. Наприклад, при падінні вологості нижче 60 % виконується імпульсне зволоження протягом 30–90 секунд із подальшою паузою. Вентиляція при цьому може тимчасово призупинятися для забезпечення насичення повітря.

1.4. Освітлення в умовах контрольованого середовища

В умовах недостатнього природного освітлення, особливо взимку, застосовується штучне світло з оптимізованим спектром. Основою системи освітлення є світлодіоди з піками на довжинах хвиль 450 і 660 нм, що відповідають зонам максимального поглинання хлорофілом А і В. Освітленість контролюється фотометричними датчиками (наприклад, ВН1750 або промислові сенсори PAR-класу). Керування інтенсивністю освітлення виконується через ШІМ-драйвери або цифрові регулятори димінгу з інтерфейсом MODBUS RTU.



Рисунок 1.3 - Освітлення в теплиці

Усі лампи розбиваються на сектори, якими керують незалежно, щоб створювати зональний мікроклімат або імітувати природні зміни світлового дня. Система враховує денний цикл, тривалість фотоперіоду, а також погодні умови зокрема, хмарність, отримуючи дані з інтернету або локального сенсорного вузла.

1.5. Керування концентрацією вуглекислого газу

CO₂ є ключовим елементом фотосинтетичного процесу, і його рівень впливає на біомасу врожаю. Для контролю концентрації використовуються сенсори на основі недисперсійної інфрачервоної технології (NDIR), які дають точні вимірювання в діапазоні 0–5000 ppm. Дані зчитуються з частотою 1 раз на 30–60 секунд. При недостатньому рівні CO₂ вмикається система дозування, яка подає газ із резервуару або з генератора на основі згоряння природного газу з фільтрацією продуктів.

Дозування виконується через регулятор тиску і електромагнітний клапан, а витрата регулюється пропорційно до площі теплиці та інтенсивності фотосинтезу. Система CO₂-терапії налаштовується таким чином, щоб вміст вуглекислоти був у межах 800–1000 ppm у години максимальної активності рослин.

1.6. Система вентиляції

Повітрообмін реалізується за допомогою активної та пасивної вентиляції. Пасивна система включає відкривання бічних або верхніх фрамуг із приводами (електромеханічними або гідравлічними), які керуються контролером на основі даних з температурних і вологісних датчиків. Активна вентиляція передбачає використання осьових вентиляторів великої продуктивності, які монтуються на протилежних кінцях теплиці для створення рівномірного повітряного потоку.

Аналіз показників швидкості вітру (анемометри) і тиску всередині теплиці дозволяє системі автоматично обмежувати відкриття фрамуг у разі сильного вітру, щоб уникнути пошкоджень.

1.7. Автоматизована система керування мікрокліматом

Центральним елементом управління є програмований логічний контролер або вбудована система на базі мікрокомп'ютера. Для промислових об'єктів зазвичай використовують контролери Siemens серії S7-1200, WAGO або Schneider. У менш масштабних проєктах — Arduino MEGA або Raspberry Pi з модулями розширення. Сенсори підключаються через протоколи 1-Wire, I²C, MODBUS або інтерфейси з аналоговим/цифровим сигналом. Керування відбувається за алгоритмами прямого регулювання або ПІД-регуляції. Всі дані фіксуються у базі даних, що дозволяє будувати графіки, прогнозувати зміни та впроваджувати адаптивне управління.

Оператор має доступ до системи через локальну панель НМІ або віддалено, через інтерфейс SCADA чи веб-додаток. Можливе підключення до GSM-модулів для аварійного сповіщення про критичні ситуації.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						16
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Загальні принципи контролю мікроклімату

Мікроклімат теплиці являє собою сукупність параметрів внутрішнього середовища, що безпосередньо впливають на ріст, розвиток, продуктивність та загальний стан рослин. До основних кліматичних параметрів належать: температура повітря, вологість, рівень освітленості, концентрація вуглекислого газу, швидкість повітряного потоку, а також вологість ґрунту. Керування цими параметрами дозволяє створювати стабільне і контрольоване середовище, що забезпечує оптимальні умови для вирощування сільськогосподарських культур незалежно від зовнішніх кліматичних коливань.

Сучасні системи контролю мікроклімату базуються на інтеграції сенсорних пристроїв, виконавчих механізмів та електронних блоків керування. Вони можуть мати різний рівень складності — від простих ручних конфігурацій до повністю автоматизованих рішень, які підтримують віддалений моніторинг та застосування алгоритмів штучного інтелекту. Найефективніші реалізації функціонують як єдина система, в якій усі параметри об'єднані в замкнений цикл керування, що дозволяє забезпечити міжпараметричний зв'язок і високий рівень адаптивності до змін середовища.

2.2. Класифікація систем контролю мікроклімату

Існуючі технічні рішення з управління мікрокліматом можна класифікувати за ступенем автоматизації: ручні, напівавтоматичні та повністю автоматизовані системи. Кожна категорія має свої особливості, переваги та обмеження.

Ручні системи передбачають повну участь оператора у процесі збору даних і регулювання кліматичних параметрів. Наприклад, працівник особисто вимірює температуру повітря за допомогою аналогового термометра та вручну відкриває або закриває вентиляційні елементи. Хоча такі системи характеризуються низькою вартістю впровадження та простою структурою, вони виявляються неефективними при роботі на великих площах або в умовах швидких змін

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

мікроклімату. Крім того, людський фактор значно підвищує ймовірність помилок, що унеможлиблює підтримку стабільного кліматичного середовища.

Напівавтоматичні системи інтегрують сенсори та базові елементи автоматичного керування. Такі рішення зазвичай використовують термостати для ввімкнення/вимкнення нагрівачів або реле для керування відкриванням вікон при досягненні заданого температурного порогу. Попри зниження потреби в постійному ручному контролі, такі системи залишаються обмеженими у функціональності, оскільки не враховують комплексну взаємодію між різними кліматичними параметрами.

Автоматизовані системи являють собою найбільш високотехнологічні рішення. Вони базуються на застосуванні мікроконтролерів, промислових програмованих логічних контролерів або одноплатних комп'ютерів типу Raspberry Pi. Такі системи здатні самостійно здійснювати зчитування даних з сенсорів, аналізувати ситуацію в реальному часі, формувати керувальні сигнали для виконавчих пристроїв (вентиляція, опалення, зрошення, освітлення) та забезпечувати двосторонній зворотний зв'язок. У багатьох реалізаціях передбачена хмарна інтеграція з можливістю дистанційного керування через веб-інтерфейси або мобільні додатки.

2.3. Технічні рішення та платформи автоматизації

Автоматизація систем контролю мікроклімату реалізується на базі широкого спектра апаратного забезпечення. Вибір технічної платформи залежить від розміру тепличного комплексу, вимог до надійності системи, наявного бюджету, потреби в масштабованості, а також рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу. Найпоширеніші технічні засоби можна умовно поділити на мікроконтролерні плати, одноплатні комп'ютери та промислові ПЛК.

Мікроконтролерні плати, такі як Arduino UNO, Mega або ESP32[7], відзначаються простотою використання та підтримкою відкритого програмного середовища. Arduino часто застосовується для створення бюджетних систем або

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

прототипів із базовою функціональністю. Плата ESP32 має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, що робить її придатною для бездротового обміну даними, зв'язку з інтерфейсами управління або хмарними сервісами.

Одноплатні комп'ютери, зокрема Raspberry Pi[8], забезпечують значно більші обчислювальні ресурси та дозволяють працювати з повноцінним програмним середовищем, таким як Linux. Це відкриває можливості для створення складних графічних інтерфейсів, ведення баз даних, здійснення аналізу даних, хостингу веб-інтерфейсів та реалізації аналітичних функцій. Raspberry Pi часто виконує роль серверного елемента системи, який координує роботу з підключеними сенсорами та мікроконтролерами.

Промислові ПЛК-контролери виробництва Siemens, Schneider Electric[9], Delta, Omron тощо призначені для використання в умовах підвищених вимог до надійності, стабільності та безперервності роботи. Вони підтримують модульну архітектуру, оснащені захистом від електромагнітних перешкод, перевантажень і стрибків напруги, а також дозволяють реалізовувати складні алгоритми керування. Програмування таких контролерів здійснюється стандартними мовами, включаючи Ladder Diagram Function Block Diagram Structured Text, а візуалізація процесів реалізується за допомогою SCADA-систем.

Гібридні системи поєднують переваги ПЛК-контролерів і мікрокомп'ютерів. У таких рішеннях ПЛК забезпечує стабільне управління виконавчими механізмами, тоді як Raspberry Pi або сервер відповідає за аналітику, візуалізацію та віддалений доступ. Така архітектура забезпечує оптимальний баланс між надійністю, функціональністю та гнучкістю системи.

2.4. Порівняльна оцінка підходів до автоматизації.

Порівняння різних типів систем контролю мікроклімату доцільно проводити за такими критеріями: точність керування, надійність функціонування, гнучкість у налаштуванні, можливість масштабування, вартість реалізації, рівень енергоспоживання та зручність експлуатації.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Ручні системи — це найбільш прості у впровадженні та найдешевші рішення, однак вони критично залежать від кваліфікації оператора. Через повну відсутність автоматизації такі системи не здатні ефективно реагувати на зміну погодних умов або фази розвитку рослин, що значно обмежує їх застосування у промисловому агровиробництві.

Напіваавтоматичні системи демонструють вищу точність порівняно з ручними, проте залишаються недостатньо адаптивними. Як правило, вони працюють за принципом порогового спрацювання і не враховують складні взаємозв'язки між параметрами. Наприклад, автоматичне відкривання вентиляційного вікна при перевищенні температури не враховує рівень вологості повітря або швидкість вітру, що може призводити до небажаних наслідків.

Системи на базі Arduino або ESP32 дозволяють реалізовувати адаптивні алгоритми, які враховують одночасно кілька параметрів. Вони є придатними для невеликих комерційних господарств або напівпрофесійних теплиць. За умови грамотно реалізованого програмного забезпечення ці платформи здатні забезпечити належний рівень функціональності, хоча залишаються обмеженими у продуктивності при обробці великих обсягів даних.

Системи з використанням Raspberry Pi мають вищу обчислювальну потужність і дозволяють реалізовувати складні алгоритми, у тому числі з елементами машинного навчання. Вони підтримують високорівневі мови програмування Python, JavaScript, інтерфейси веб-доступу, системи логування, аналітики та сповіщень. Проте через обмеження у надійності та захисті ці системи не завжди є оптимальними для безперервного промислового застосування.

Промислові ПЛК-системи[10] демонструють максимальний рівень стабільності, точності та довговічності. Їх впровадження доцільне у великих тепличних комплексах з високими вимогами до безпеки та якості продукції. Незважаючи на вищу початкову вартість, ПЛК-рішення забезпечують

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

мінімізацію людського фактору, підвищену надійність, економію ресурсів та можливість гнучкого масштабування системи в майбутньому.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						21
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. СТРУКТУРНА СХЕМА

Структурна схема є важливим етапом у розробці автоматизованих систем, оскільки вона відображає загальну архітектуру пристрою, функціональні модулі та зв'язки між ними. На відміну від принципової електричної схеми, яка зображає конкретні електричні з'єднання, структурна схема виконує більш абстрактну роль — вона демонструє логічну взаємодію елементів системи. Це дозволяє краще зрозуміти, як окремі компоненти виконують свої функції, як обмінюються даними, як здійснюється керування і яка інформація передається між модулями.

У даній роботі структурна схема системи контролю мікроклімату в теплиці є центральним елементом розробки, оскільки на її основі побудована вся логіка функціонування пристрою. Система реалізована на основі мікроконтролера, який виконує роль центрального керуючого вузла.

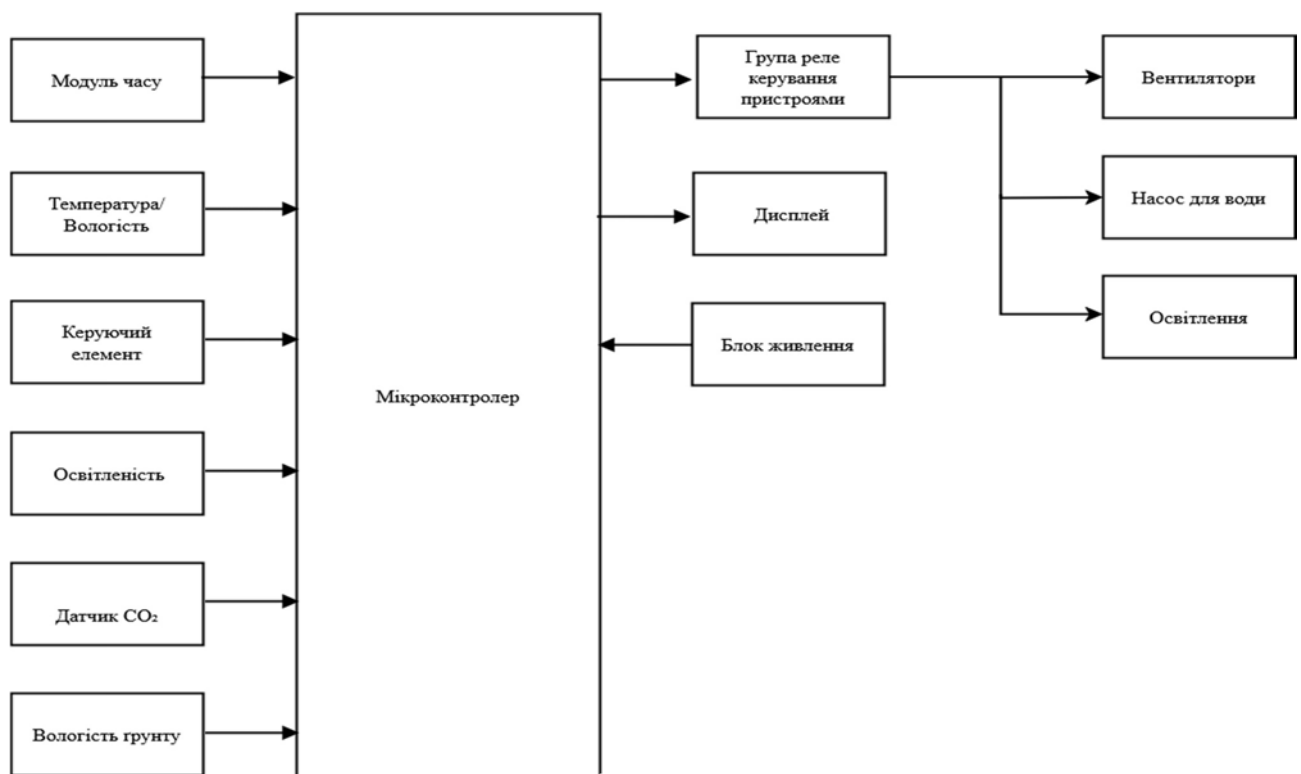


Рисунок 3.1 – Структурна схема

Зліва на схемі зображені всі входні елементи системи — датчики та модулі зчитування параметрів середовища. До таких належать:

- Модуль реального часу RTC — забезпечує точне відображення часу та дозволяє системі працювати за розкладом, наприклад, включати освітлення або полив у певний час доби;
- Датчик температури та вологості — вимірює кліматичні показники повітря, які є критичними для розвитку рослин;
- Датчик освітленості — аналізує рівень природного світла в теплиці, що дозволяє визначати необхідність додаткового штучного освітлення;
- Датчик CO₂ — визначає концентрацію вуглекислого газу у повітрі, який впливає на фотосинтез;
- Датчик вологості ґрунту — дозволяє контролювати рівень зволоження кореневої зони рослин;
- Кнопки та потенціометр — забезпечують ручне керування, налаштування порогових значень та режимів роботи системи.

Ці пристрої передають сигнали до мікроконтролера, який виконує обчислення, порівнює отримані дані з заданими параметрами, приймає рішення про необхідність активації виконавчих механізмів. Сам мікроконтролер — це програмований електронний пристрій, який здатен зчитувати дані з сенсорів, аналізувати їх, формувати сигнали керування та забезпечувати стабільну роботу системи.

З правого боку від мікроконтролера знаходяться вихідні пристрої:

- Група реле — електронні перемикачі, які дозволяють мікроконтролеру керувати більш потужними споживачами, зокрема двигунами або лампами. Реле є проміжною ланкою між низьковольтною логікою мікроконтролера і силовими навантаженнями;
- Вентилятори — забезпечують повітрообмін у теплиці та охолодження у разі підвищення температури;
- Насос для води — активується у разі недостатньої вологості ґрунту для автоматичного поливу;

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- Освітлення — вмикається, коли рівень природного світла є недостатнім, або за графіком, встановленим користувачем.

Окрім виконавчих елементів, до мікроконтролера підключено дисплей, який виконує функцію виведення даних у реальному часі. На ньому відображаються значення температури, вологості, вмісту CO₂, година, а також повідомлення про стан пристроїв. Це надає оператору повну інформацію про поточний стан мікроклімату в теплиці та дозволяє швидко реагувати у разі потреби.

Система живиться від блоку живлення, який перетворює змінну напругу з мережі на постійну напругу, необхідну для роботи мікроконтролера, сенсорів та реле. Стабільність і надійність джерела живлення є важливою умовою для безперервної та коректної роботи системи.

Загалом, структурна схема демонструє функціональну організацію апаратної частини системи, забезпечуючи автоматичне керування параметрами мікроклімату теплиці. Завдяки цьому досягається оптимальне середовище для росту рослин із мінімальним втручанням людини.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

4. ВИБІР КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ

4.1 Мікроконтролер

Дана робота описує використання мікроконтролера Arduino Nano[11] як базового обчислювального модуля в системі контролю мікроклімату теплиці. Вибір саме цієї плати обумовлений її компактністю, енергоефективністю та сумісністю з широким спектром цифрових і аналогових сенсорів, необхідних для побудови інтегрованої автоматизованої системи.

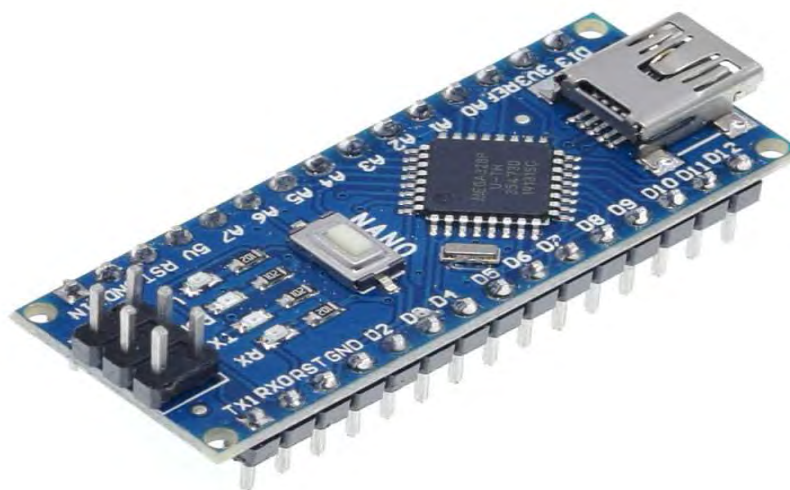


Рисунок 4.1 - Arduino Nano

Для порівняння було розглянуто альтернативні рішення, такі як Arduino Uno та ESP8266 NodeMCU. Попри широку поширеність Arduino Uno серед початківців, її габарити не дозволяють компактно інтегрувати модуль у захищений корпус в умовах обмеженого простору. Хоча вона побудована на тому ж мікроконтролері ATmega328P, що і Nano, її більші розміри та більш енергоємне компонування знижують доцільність використання в стаціонарних автономних системах, особливо в умовах, де важливо мінімізувати споживання ресурсів та механічну присутність обладнання.

Щодо плати ESP8266, її головною перевагою є наявність вбудованого Wi-Fi-модуля, що теоретично дозволяє реалізувати бездротовий моніторинг. Однак

у рамках даної роботи пріоритетом є стабільність і безперервність функціонування системи в середовищі з високою вологістю, типовому для теплиць. Мікросхема ESP8266 вимагає стабілізованого живлення, працює на 3.3 В і, як наслідок, потребує додаткових елементів для рівнемасштабування при роботі з більшістю сенсорів, розрахованих на 5 В. Крім того, в умовах вологого середовища бездротове з'єднання може бути нестабільним, що унеможливило надійну довготривалу експлуатацію.

Arduino Nano натомість забезпечує надійну основу для побудови автоматизованих систем, потребує мінімум місця для монтажу, підтримує пряме підключення до сенсорів без додаткових конвертерів напруги, має просту USB-комунікацію та повністю сумісна з середовищем Arduino IDE. Наявність широкої підтримки бібліотек, велика спільнота користувачів та технічна документація суттєво спрощують розробку, відлагодження та масштабування програмного забезпечення системи. Крім того, завдяки невеликим габаритам плата легко розміщується в герметичному корпусі, що дозволяє забезпечити захист від впливу вологи, пилу та механічних пошкоджень.

Таким чином, дана робота обґрунтовує вибір Arduino Nano як технічно оптимального ядра мікропроцесорної частини системи контролю мікроклімату завдяки поєднанню компактності, надійності, енергоефективності та широкої функціональної сумісності з іншими компонентами.

4.2. Дисплей

У межах даної роботи для виведення інформації в системі контролю мікроклімату використано дисплей LCD 2004 з інтерфейсом I2C. Такий дисплей забезпечує відображення великого обсягу текстової інформації без надмірного навантаження на мікроконтролер, що особливо важливо для одночасного виводу кількох параметрів температура, вологість, освітленість, концентрація CO₂ тощо.

LCD 2004 [12] містить 4 рядки по 20 символів, що дозволяє відображати більше інформації одночасно, без необхідності реалізовувати багатосторінкові інтерфейси чи прокручування. Це критично для швидкої візуальної оцінки стану

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						26
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроклімату оператором у реальних умовах теплиці, де важлива швидкість доступу до даних без додаткових натискань чи затримок.



Рисунок 4.2 - LCD2004

Для порівняння, LCD 1602 I2C — спрощений варіант дисплея з 2 рядками по 16 символів. Попри менше енергоспоживання та нижчу вартість, він не забезпечує достатньої площі для виведення повного набору показників без перевантаження тексту. Це ускладнює контроль за кількома змінними, що є критичним недоліком для системи, яка має відображати поточний стан мікроклімату у режимі реального часу.

Інший розглянутий аналог — OLED-дисплей на базі SSD1306 128x64 пікселів — володіє графічною роздільною здатністю та підтримує відображення як тексту, так і простих графіків. Проте через невеликі фізичні розміри OLED-дисплей менш зручний для візуального зчитування інформації з відстані. Крім того, OLED-дисплеї мають вищу вартість, складніше програмування необхідна реалізація графічного інтерфейсу та меншу стійкість до умов підвищеної вологості, що може впливати на їхню довговічність у середовищах на кшталт теплиці.

Інтерфейс I2C, яким обладнаний дисплей LCD 2004, дозволяє значно зменшити кількість необхідних пінів для підключення: замість 6-8 цифрових портів, як у класичного паралельного підключення, використовується лише два — SDA і SCL. Це вивільняє ресурси мікроконтролера для підключення більшої кількості сенсорів або виконавчих елементів. Бібліотека LiquidCrystal_I2C, що застосовується для програмування цього дисплея, має високу стабільність, простий синтаксис та активно підтримується середовищем Arduino IDE.

Отже, дана робота визначає LCD 2004 I2C як оптимальний дисплей для реалізації інтерфейсу моніторингу. Його розміри, кількість відображуваних символів, надійність у вологому середовищі та мінімальне навантаження на контролер роблять його доцільним вибором для використання в умовах тепличної автоматизованої системи.

4.3 Датчики

4.3.1 Датчик температури та вологості

У розробці системи контролю мікроклімату теплиці використовуються сенсор DHT22[13], який забезпечує вимірювання температури та відносної вологості повітря. Для порівняння, розглянемо два популярні аналоги — DHT11 та AM2320. Кожен із них має певні переваги, однак вибір на користь DHT22 є найбільш виправданим для завдань, пов'язаних з точним моніторингом кліматичних умов у теплиці.



Рисунок 4.3 - DHT22

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Сенсор DHT11 є спрощеним варіантом, який хоч і має нижчу вартість, проте поступається за технічними характеристиками. Зокрема, він вимірює температуру в межах від 0 до +50 °C з точністю ± 2 °C та вологість у діапазоні 20–80% з точністю $\pm 5\%$. DHT22 має значно ширший робочий діапазон температур від -40 до +80 °C з точністю ± 0.5 °C та вимірює вологість від 0 до 100% з точністю ± 2 –5%. Така точність і діапазон є критичними для умов теплиці, де можуть спостерігатися як підвищені температури влітку, так і ризик охолодження вночі або восени. Крім того, інтервал між вимірюваннями в DHT11 становить близько однієї секунди, тоді як у DHT22 він може бути трохи більшим, однак у рамках системи з періодичним опитуванням сенсорів це не є критичною відмінністю.

Інший потенційний аналог це AM2320, що також забезпечує високу точність і діапазон вимірювань, близький до DHT22. Він використовує як цифровий протокол I²C, так і однодротовий, надаючи більшу гнучкість у виборі способу підключення. Однак основною перевагою DHT22 залишається його широка підтримка в Arduino-середовищі, наявність стабільних бібліотек, прикладів використання та перевірена сумісність з Arduino Nano, що значно полегшує інтеграцію в систему. Крім того, DHT22 є дещо доступнішим за ціною порівняно з AM2320 у багатьох регіонах, що робить його оптимальним вибором з точки зору балансу між вартістю, точністю та зручністю розробки.

Таким чином, попри наявність альтернатив, саме DHT22 забезпечує необхідну точність, надійність та сумісність для довготривалої роботи в умовах теплиці. Його використання гарантує стабільний моніторинг мікроклімату, що є ключовим для ефективного вирощування рослин.

4.3.2 Виносний сенсор температури

Для проєкта використовується цифровий температурний сенсор DS18B20[14], який має низку суттєвих переваг порівняно з іншими поширеними аналогами, такими як LM35 і TMP36. Хоча всі ці датчики виконують схожу функцію — вимірювання температури, саме DS18B20 є найбільш придатним для

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

застосування в тепличних умовах завдяки високій точності, зручному цифровому інтерфейсу та можливості роботи на великій відстані.



Рисунок 4.4 - DS18B20

Аналоговий датчик LM35 є простим у використанні, проте має низку обмежень. Його основна перевага — лінійна залежність вихідної напруги від температури ($10 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$), що спрощує обробку сигналу. Проте ця аналогова природа є водночас і недоліком, оскільки для точного зчитування необхідно мати стабільне живлення та якісний аналогово-цифровий перетворювач (ADC) на мікроконтролері. Arduino Nano має лише 10-бітний ADC, що обмежує точність вимірювання, особливо за наявності шумів або довгих проводів. Також LM35 має менший температурний діапазон (зазвичай від 0 до $+100^{\circ}\text{C}$), що робить його менш універсальним для тепличного середовища, де можливі й нижчі температури вночі або в зимовий період.

Інший подібний сенсор — TMP36 — також є аналоговим і має схожі недоліки. Він працює в ширшому діапазоні температур (приблизно від -40 до $+125^{\circ}\text{C}$), однак точність вимірювання нижча, ніж у DS18B20. TMP36 також є чутливим до коливань живлення і шумів у лінії, що ускладнює точні довготривалі вимірювання в польових умовах.

На цьому фоні DS18B20 суттєво вирізняється. Він використовує цифровий протокол 1-Wire, що дозволяє зчитувати точні значення температури без

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

додаткових перетворень, із заявленою точністю ± 0.5 °C у більшості робочого діапазону (від -55 до +125 °C). Однією з ключових переваг є можливість підключення кількох сенсорів до одного цифрового піну мікроконтролера завдяки унікальним ідентифікаторам кожного пристрою, що дозволяє легко масштабувати систему. Крім того, DS18B20 доступний у водонепроникному виконанні з кабелем, що особливо актуально для теплиць, де можливий прямий контакт із вологою або ґрунтом.

Тож, використання сенсора DS18B20 є найбільш обґрунтованим з позиції точності, надійності, стійкості до умов середовища та зручності в реалізації. Цифрова передача даних гарантує стабільність навіть на довгих лініях, а гнучкість у підключенні робить його ідеальним рішенням для систем моніторингу температури в теплиці.

4.3.3 Датчик углекислого газу

У системі контролю мікроклімату теплиці важливим параметром є рівень вуглекислого газу (CO₂), адже він безпосередньо впливає на фотосинтез та ріст рослин. Для точного вимірювання цього показника використовується сенсор МН-Z19[15], який є одним із найкращих рішень у своєму класі. Розглянемо два популярні аналоги — MG-811 та К-30 — і порівняємо їх з МН-Z19, щоб обґрунтувати доцільність його використання саме в умовах тепличного середовища.

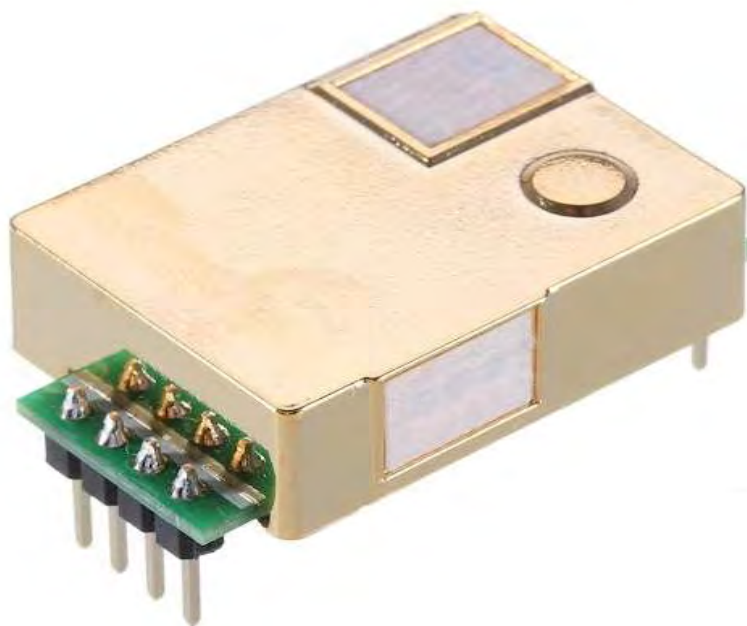


Рисунок 4.5 - МН-Z19

Сенсор MG-811 є відносно дешевим напівпровідниковим газовим датчиком, який також призначений для виявлення CO₂. Однак він має низку суттєвих недоліків. По-перше, MG-811 має аналоговий вихід, що ускладнює точну обробку сигналу, особливо з урахуванням того, що рівень CO₂ повинен вимірюватися з похибкою не більше ± 50 ppm для агротехнічних завдань. По-друге, цей сенсор дуже чутливий до змін температури і вологості, що створює додаткові труднощі в умовах теплиці, де ці параметри можуть змінюватися щогодини. Більше того, MG-811 потребує попереднього прогріву (до 24 годин) і стабільного джерела живлення 6 В, що не зовсім зручно при роботі з Arduino Nano, яка працює на 5 В.

Інший аналог — К-30 — це високоточний оптичний сенсор CO₂, що також використовує принцип NDIR (недисперсійна інфрачервона спектроскопія), як і МН-Z19. Його точність вища, а діапазон вимірювання ширший — до 5000 ppm або навіть 10000 ppm у деяких версіях, проте ціна значно вища, а розміри суттєво більші. К-30 часто використовується в промислових системах або професійних лабораторіях, однак для невеликої автоматизованої теплиці його характеристики є надмірними, а вартість — невиправдано високою.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

У цьому контексті сенсор МН-Z19 є оптимальним варіантом. Він також базується на надійному і стабільному NDIR-принципі, що забезпечує високу точність вимірювання CO₂ в межах від 0 до 5000 ppm з типовою похибкою ± 50 ppm + 5% від значення. На відміну від MG-811, МН-Z19 має цифрові інтерфейси UART та PWM, що дозволяє легко інтегрувати його з Arduino Nano без потреби в аналоговому обробленні сигналу. Він не потребує складного калібрування або спеціального джерела живлення, працює при 5 В і має вбудований температурний сенсор для компенсації похибок.

Таким чином, МН-Z19 ідеально підходить для системи мікроклімату теплиці завдяки поєднанню точності, простоти підключення, стабільності роботи та компактності. Його використання дозволяє ефективно контролювати концентрацію CO₂, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин без перевитрат на складні або надто чутливі системи.

4.3.4 Датчик вологості ґрунту

У системі контролю мікроклімату теплиці використовується ємнісні датчики вологості ґрунту, які мають суттєві переваги над традиційними аналогами, зокрема резистивними датчиками вологості та цифровими сенсорами з UART або I2C виходом, як-от Soil або Chirp Sensor. Вибір на користь саме ємнісного датчика обґрунтований його довговічністю, стабільністю показників і надійністю роботи в умовах агресивного середовища — тобто у вологому ґрунті.



Рисунок 4.6 - SHT10

Найбільш поширені резистивні сенсори вологості, такі як YL-69 або FC-28, функціонують шляхом вимірювання електропровідності між двома металевими електродами, зануреними в ґрунт. Вони дешеві й доступні, але мають критичний недолік — швидку корозію металевих пластин, особливо за постійного перебування у вологому середовищі. Це призводить до нестабільних вимірювань і потреби в частій заміні сенсора. Крім того, ці сенсори є дуже чутливими до типу ґрунту, солей та добрив, що призводить до великих похибок. Умови теплиці часто передбачають постійну вологу та наявність хімічних речовин, тому використання резистивних сенсорів тут є недоцільним.

Альтернативою є цифрові сенсори вологості ґрунту, як-от SHT10 Soil або Chirp Sensor. Вони забезпечують високу точність, мають захищений корпус, цифровий інтерфейс (UART, I2C), і в деяких випадках навіть вбудовану калібровку. Однак такі сенсори є значно дорожчими, і для невеликих проєктів їхня вартість рідко буває виправданою. Крім того, використання цифрових інтерфейсів вимагає більше уваги до програмної частини та резервування вільних пінів на мікроконтролері, що обмежує можливості при великій кількості інших підключень у проєкті.

Натомість ємнісний сенсор вологості ґрунту є найкращим компромісом між вартістю, надійністю та точністю. Він працює за принципом вимірювання зміни електричної ємності в ґрунті — без безпосереднього контакту струмопровідних елементів з вологою. Завдяки цьому датчик не піддається корозії, має довший термін служби і забезпечує стабільні результати в умовах реального застосування. Аналоговий вихід дозволяє легко інтегрувати його з Arduino Nano, використовуючи вбудований ADC, а сигнали піддаються фільтрації та усередненню для підвищення точності.

У тепличних умовах, де сенсор повинен працювати тривалий час без обслуговування, ємнісний тип є найбільш доцільним. Він не вимагає герметизації, не зношується швидко і забезпечує достатню точність для прийняття практичних рішень щодо поливу. Крім того, він простий у використанні, доступний на ринку і підтримується численними прикладами в Arduino-спільноті.

Отже, вибір на користь ємнісного датчика вологості у системі контролю мікроклімату теплиці є технічно обґрунтованим і практично вмотивованим: він забезпечує надійну, стабільну та довготривалу роботу при помірній ціні і простому підключенні.

4.3.5 Датчик освітленості

В проєкті використовується датчик освітленості BH1750[17], який забезпечує точне вимірювання рівня освітлення в люксах. Це важливий параметр у тепличному господарстві, оскільки освітлення безпосередньо впливає на фотосинтез, ріст і врожайність рослин. Хоча на ринку існують інші світлові сенсори, зокрема TSL2561 та TCMТ6000, саме BH1750 є найдоцільнішим вибором завдяки поєднанню точності, простоти інтеграції, цифрового інтерфейсу та стабільної роботи в реальних умовах.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

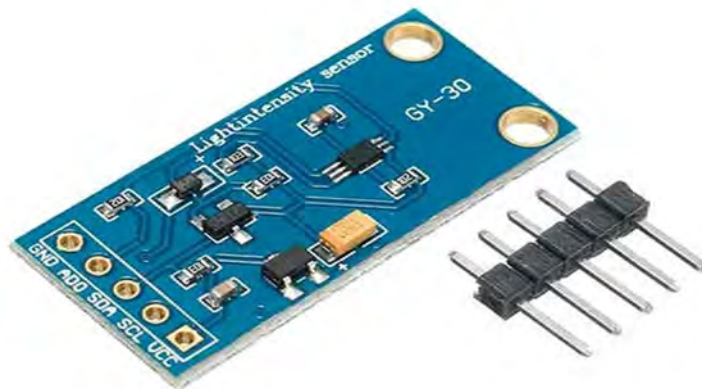


Рисунок 4.7 - BH1750

Одним із популярних аналогів є TSL2561 — цифровий датчик, який, на відміну від BH1750, має два фотодіоди: один для видимого спектру, інший — для інфрачервоного. Це дозволяє здійснювати більш точну оцінку освітленості, близьку до людського зору, з урахуванням різних спектральних характеристик. Проте ця складність призводить до складнішої обробки сигналу та необхідності калібрування для різних умов. Крім того, TSL2561 менш стабільний при високій вологості й має більшу чутливість до температурних коливань, що може негативно вплинути на довготривалу роботу в теплиці.

Інший варіант — ТЕМТ6000 — це аналоговий фототранзистор, який змінює вихідну напругу залежно від інтенсивності світла. Він дешевший, дуже компактний і споживає мало енергії. Але його недоліком є відсутність каліброваного цифрового виходу: дані потрібно перетворювати вручну, і він не надає результати у люксах. Крім того, він має нелінійну характеристику і чутливість лише в діапазоні близькому до людського зору, тому непридатний для вимірювання загальної освітленості, яку сприймають рослини, особливо в умовах штучного або комбінованого освітлення.

Натомість BH1750 забезпечує стабільне, швидке і точне вимірювання освітленості в стандартних фізичних одиницях (люксах) без потреби в складній обробці сигналу. Він має вбудований АЦП і цифровий вихід через I2C, що мінімізує рівень шумів та помилок під час передавання. Завдяки високій чутливості (від 1 до 65535 люкс) і низькому енергоспоживанню BH1750 ідеально підходить для безперервного моніторингу денного освітлення або контролю штучного підсвічування. Він працює стабільно навіть при перепадах температури, а його корпус захищений від впливу пилу та вологи, що важливо в тепличному середовищі.

Крім того, BH1750 має широку бібліотечну підтримку в середовищі Arduino, що дозволяє швидко налаштувати його роботу, змінювати чутливість і швидкість вимірювань. Це значно спрощує розробку прототипів і підвищує надійність системи загалом.

Отже, вибір на користь BH1750 у системі контролю мікроклімату теплиці повністю обґрунтований: він точний, простий у підключенні, енергоефективний і стабільний в роботі, а також дозволяє отримувати достовірні дані освітленості, необхідні для прийняття рішень щодо освітлення в автоматичному режимі.

4.3.6 Керуючий елемент

В проєкті використовується обертовий енкодер як основний інтерфейсний елемент для взаємодії користувача з пристроєм. Його вибір є обґрунтованим порівняно з такими поширеними елементами керування, як звичайні кнопки або аналогові потенціометри, адже енкодер[18] забезпечує значно більшу функціональність, точність і довговічність у межах автоматизованої системи на базі Arduino Nano.



Рисунок 4.8 - Енкодер

Порівнюючи з кнопками, слід зазначити, що вони реалізують лише дискретну дію — натискання. Щоб створити з їхньою допомогою навіть найпростіше меню для зміни параметрів, необхідно використовувати щонайменше дві або три кнопки: одну для переходу між пунктами, іншу — для зміни значення, ще одну — для підтвердження. Це збільшує кількість компонентів, ускладнює конструкцію, потребує більше пінів на контролері, а також призводить до менш інтуїтивного керування. Крім того, кнопки мають механічні обмеження ресурсу, особливо при частому натисканні, що в умовах теплиці може призвести до їх швидкого зносу.

Потенціометр — це простий і дешевий пристрій, який дає аналоговий вихід. Його головна перевага — можливість швидко змінювати значення, наприклад, для регулювання яскравості або встановлення порогів. Проте він має кілька суттєвих недоліків: він не забезпечує точного позиціонування (неможливо визначити абсолютне значення після перезапуску системи), а також не підходить для збереження і точного відтворення налаштувань. Крім того, потенціометри

мають обмежений механічний ресурс через тертя контактної групи, а їхня точність з часом зменшується.

Обертовий енкодер позбавлений усіх цих недоліків. Він дозволяє обертати ручку необмежену кількість разів у будь-який бік і зчитує кроки повороту без зміни опору, завдяки чому забезпечує точну цифрову взаємодію. Кожен оберт або клік відповідає чіткій зміні значення, що дуже зручно для налаштування параметрів із потрібною роздільністю. Крім того, більшість енкодерів мають інтегровану кнопку, що дозволяє реалізувати вибір чи підтвердження дію без додаткових елементів. Важливо також, що енкодер працює без зсуву нульової позиції при повторному запуску — значення зберігаються в EEPROM, і кроки змінюються лише за обертанням, а не відносно позиції вала, як у потенціометра.

Тому, у контексті автоматизованої теплиці, де важливе гнучке, точне і довговічне керування параметрами, обертовий енкодер є найкращим варіантом порівняно з потенціометрами та звичайними кнопками. Він забезпечує надійну роботу в умовах вологості, має низьке енергоспоживання, простий у підключенні й дозволяє реалізувати зручний і компактний інтерфейс користувача.

4.4 Модулі

4.4.1 Модуль часу

У проєкті контролю мікроклімату теплиці я використовую модуль RTC DS3231, який забезпечує точне збереження поточного часу й дати, навіть у випадку знеструмлення системи. Це особливо важливо для довготривалого моніторингу змін параметрів середовища, побудови графіків, запису в лог-файли або реалізації подій за розкладом, наприклад, автоматичного поливу. Серед аналогів варто розглянути DS1307[19] та PCF85263A, проте саме DS3231 є найбільш виправданим і надійним вибором як з точки зору точності, так і стабільності роботи в умовах теплиці.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						39
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.9 - DS3231

RTC DS1307 — це один з перших і найпоширеніших чипів годинника реального часу. Він працює через інтерфейс I2C, має окрему батарейку живлення, яка дозволяє зберігати час при вимкненні системи. Проте головним недоліком є його нестабільність: DS1307 має кварцовий резонатор, який суттєво реагує на коливання температури. Через це з часом відбувається накопичення похибки — до кількох секунд на добу, що критично при довготривалому моніторингу. У теплих умовах, де температура може змінюватися в межах 10–40°C, така похибка лише зростає. Крім того, він менш точний, не має температурної компенсації, і його частіше доводиться синхронізувати вручну або через інтернет.

Другий аналог — PCF85263A — це більш сучасний RTC-чип від NXP, який підтримує не лише час, а й будильники, лічильники, таймери. Він має дуже низьке енергоспоживання та невеликі розміри, що корисно для портативних пристроїв. Проте його використання передбачає дещо складніше програмування та менш поширену бібліотечну підтримку в Arduino IDE, що ускладнює інтеграцію в навчальні, аматорські або малобюджетні системи. Крім того, на практиці його точність схожа або дещо гірша за DS3231 у звичайних умовах.

RTC DS3231, натомість, вирізняється високою точністю — завдяки вбудованому температурно-компенсованому кварцовому осцилятору (ТСХО), він має типову похибку не більше ніж ± 2 ppm, тобто до 1 хвилини на рік. Він стабільно працює при коливаннях температури, що критично важливо в умовах теплиці. DS3231 також має вбудований датчик температури, який можна використовувати додатково для загального моніторингу або компенсації інших показників. Чип підтримує інтерфейс I2C, має енергонезалежну пам'ять і вбудовану батарею, що зберігає час навіть після повного знеструмлення системи. Крім того, він широко підтримується у бібліотеках Arduino (RTClib тощо), що дозволяє легко його інтегрувати навіть новачкам.

Таким чином, використання RTC DS3231 у системі контролю мікроклімату теплиці є технічно виправданим завдяки його високій точності, термостабільності, надійності й простоті підключення. Це ідеальне рішення для забезпечення достовірної часової прив'язки в автоматизованій системі збору даних або керування.

4.4.2 Група реле

У системі контролю мікроклімату теплиці я використовую кілька одноканальних реле[20] на 5 В, які забезпечують керування різними виконавчими пристроями, такими як насос для поливу, вентилятор, обігрівач або система додаткового освітлення. Кожне реле відповідає за окреме навантаження, що дає змогу незалежно керувати кожним елементом системи. Незважаючи на наявність альтернатив, таких як багатоканальні релейні модулі або твердотільні реле SSR, саме набір одноканальних електромеханічних реле виявився оптимальним рішенням з точки зору гнучкості, простоти заміни, надійності та зручності компонування в конструкції тепличної системи.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 4.10 - Одноканальне реле

Багатоканальні реле, наприклад на 4 або 8 каналів, справді дозволяють економити місце на платі та спростити схему підключення, оскільки мають спільний живильний і сигнальний інтерфейс. Однак такі модулі часто мають великі габарити, менш зручні для компактного монтажу в нестандартних умовах теплиці, де виконавчі пристрої можуть розміщуватись на відстані. Також у разі виходу з ладу одного каналу доводиться замінювати весь модуль, що незручно з точки зору обслуговування.

Твердотільні реле SSR мають свої переваги — безшумність, Тривалий експлуатаційний ресурс та швидкодія при перемиканні. Проте вони значно дорожчі, у них часто є обмеження на тип навантаження АС або DC, і вони можуть створювати фоновий нагрів навіть без активного навантаження. До того ж, у бюджетних умовах навчального або практичного проєкту, використання SSR не є виправданим з точки зору вартості й складності.

Одноканальні електромеханічні реле на 5 В, які я використовую, є компактними, простими в підключенні та взаємозамінними. Кожне реле має власну оптоізоляцію, що забезпечує надійну гальванічну розв'язку між мікроконтролером і силовим колом, а також вбудований світлодіодний індикатор стану, що дозволяє легко діагностувати роботу. Така модульність

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

дозволяє легко масштабувати систему — при додаванні нового споживача достатньо встановити ще одне реле без потреби в переробці всієї схеми.

Таким чином, використання кількох одноканальних реле на 5 В є раціональним і практичним рішенням, яке забезпечує максимальну гнучкість, зручність обслуговування та адаптивність до змін у структурі керованих пристроїв у системі теплиці. Це оптимальне поєднання надійності, вартості та функціональності в умовах реального впровадження.

4.5 Об'єкти керування

4.5.1 Вентилятор

У складі моєї системи контролю мікроклімату теплиці використовується каналний вентилятор ДОМОВЕНТ 100 ВКО, який забезпечує ефективну вентиляцію внутрішнього простору теплиці та підтримання стабільного рівня температури й вологості. Його завдання — своєчасне видалення надлишкового тепла й вологи, особливо в сонячні дні або при роботі нагрівальних елементів. Хоча існують альтернативні рішення, зокрема вентилятори осьового типу або турбінні моделі, саме ДОМОВЕНТ 100 ВКО[21] виявився найбільш доцільним вибором для компактної теплиці завдяки високій продуктивності, простоті встановлення, доступній вартості та оптимальному балансу між потужністю й рівнем шуму.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



Рисунок 4.11 - ДОМОВЕНТ 100 ВКО

Осьові вентилятори, які часто використовуються в побутових витяжках, мають просту конструкцію й зазвичай дешевші. Проте вони характеризуються значно нижчим тиском повітря і, відповідно, гірше справляються з переміщенням повітря через довгі вентиляційні канали або при підвищеному опорі (наприклад, через сітки або фільтри в теплиці). В умовах теплиці, де важливо не просто обертати повітря, а забезпечити його активну циркуляцію в контрольованому напрямку, осьові вентилятори не забезпечують достатньої ефективності.

Інший варіант — турбінні або відцентрові вентилятори, які мають високу потужність і великий тиск, тому використовуються у великих промислових теплицях. Однак вони громіздкі, дорогі, складні в монтажі та, як правило, споживають більше енергії, ніж потрібно для компактної або аматорської теплиці. Їх застосування виправдане тільки в масштабних автоматизованих системах, де обсяг повітря і довжина каналів значно більші.

Натомість ДОМОВЕНТ 100 ВКО — це каналний вентилятор радіального типу, який поєднує достатню потужність із компактними розмірами. Він легко

монтується в круглі вентиляційні труби діаметром 100 мм, що дозволяє організувати спрямований рух повітря, наприклад, із нижньої частини теплиці до даху або назовні. Його продуктивність (понад 100 м³/год) оптимально підходить для невеликих або середніх теплиць, забезпечуючи ефективну вентиляцію без надмірного споживання енергії. Крім того, він має стійкий пластиковий корпус, захищений від корозії та впливу вологості, що критично важливо в тепличних умовах.

ДОМОВЕНТ 100 ВКО також добре сумісний із релейним керуванням — його можна безпечно вмикати та вимикати за допомогою модуля реле 5 В, керованого мікроконтролером Arduino Nano, у відповідь на показники температури або вологості. Це дозволяє повністю автоматизувати процес вентиляції, підвищуючи стабільність мікроклімату й зменшуючи участь людини.

Таким чином, вибір каналного вентилятора ДОМОВЕНТ 100 ВКО у системі контролю мікроклімату є обґрунтованим з точки зору ефективності, доступності, надійності й простоти інтеграції в автоматизовану тепличну установку. Він повністю відповідає технічним потребам проєкту та забезпечує стабільну роботу системи вентиляції.

4.5.2 Насос для води

У системі контролю мікроклімату теплиці використовується садовий насос Dnipro-M GP 600[22], який виконує функцію автоматизованої подачі води для зрошення. З його допомогою реалізується контрольована система поливу, яка вмикається на основі показників вологості ґрунту, отриманих із відповідних сенсорів. Серед можливих аналогів можна згадати вібраційні насоси типу «Малиш» або помпи постійного струму 12 В, але саме GP 600 є найбільш доцільним вибором завдяки потужності, продуктивності, надійності й сумісності з автоматизованим керуванням у межах тепличної системи.



Рисунок 4.12 - Dnipro-M GP 600

Вібраційні насоси, як правило, дешевші й можуть працювати у свердловинах, однак вони мають суттєві обмеження. Їхня робота супроводжується вібраціями, що може пошкоджувати стінки ємностей або водогонів при частому вмиканні. Крім того, вони не призначені для частого циклічного вмикання та вимикання — що є ключовим у системах з автоматичним релейним керуванням. Надмірне навантаження на вібраційний механізм швидко виводить його з ладу при роботі в режимі частих коротких поливів, характерних для невеликих теплиць.

З іншого боку, мініатюрні помпи на 12 В, які часто використовуються з Arduino, мають низьке енергоспоживання й легко інтегруються в електронну схему. Проте вони не здатні забезпечити потрібний об'єм води для поливу навіть невеликої площі теплиці — їх продуктивність та напір занадто малі. Крім того, у них зазвичай відсутній захист від сухого ходу, що робить їх ненадійними при перервах у водопостачанні.

Dnipro-M GP 600 — це садовий поверхневий насос, який працює від 220 В і має потужність 600 Вт, що дозволяє перекачувати значний об'єм води з бочки,

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

бака або відкритої водойми. Його продуктивність (до 3100 л/год) і висота підйому води (до 35 м) повністю відповідають потребам тепличного зрошення. Насос має термозахист двигуна, що забезпечує безпечну роботу в тривалому режимі, а його механічна конструкція добре підходить для частої роботи в автоматичному циклі. Підключення до системи релейного керування Arduino здійснюється через реле з оптоізоляцією, що гарантує безпечне вмикання та вимикання високовольтного пристрою.

Варто відзначити також перевагу GP 600 у стійкості до забруднень: завдяки сітчастому фільтру він може працювати з водою з бочок або резервуарів, де можуть бути механічні домішки. Його корпус виготовлений з ударостійкого пластику, що забезпечує довговічність в умовах вологи та пилу.

Таким чином, вибір садового насоса Dnipro-M GP 600 у проєкті є цілком обґрунтованим. Він забезпечує оптимальний баланс між потужністю, продуктивністю та надійністю, а також легко інтегрується в автоматизовану систему поливу, керовану Arduino. У поєднанні з датчиками вологості ґрунту та релейним модулем насос дозволяє створити ефективну, гнучку та самостійну систему зрошення, що відповідає сучасним вимогам до енергоефективного агротехнічного середовища.

4.5.3 Освітлення

В проєкті використовується світлодіодна фітолампа для рослин[23], яка забезпечує ефективне додаткове освітлення в умовах недостатнього природного світла, особливо в осінньо-зимовий період. Ця лампа випромінює світло в діапазоні, оптимальному для фотосинтезу, зокрема в червоному та синьому спектрах, створює умови для ефективного росту та здорового розвитку рослин.



Рисунок 4.13 - Світлодіодна фітолампа

Порівнюючи з іншими типами фітоламп, такими як люмінесцентні та натрієві лампи високого тиску, світлодіодна фітолампа має низку переваг. Люмінесцентні лампи, хоча й доступні за ціною, мають менший термін служби та нижчу енергоефективність. Натрієві лампи, в свою чергу, споживають більше енергії та виділяють значну кількість тепла, що може бути небажаним у тепличних умовах.

Світлодіодна фітолампа вирізняється високою енергоефективністю, тривалим терміном служби та низьким тепловиділенням. Вона також має компактні розміри, що полегшує її інтеграцію в тепличну систему. Крім того, світлодіодні лампи забезпечують стабільне та спрямоване освітлення, що дозволяє точно контролювати інтенсивність та спектр світла, необхідного для різних фаз росту рослин.

Таким чином, вибір світлодіодної фітолампи у моєму проєкті є обґрунтованим з точки зору енергоефективності, довговічності та оптимального спектру світла для стимулювання росту рослин у тепличних умовах.

4. ПРИНЦИПОВА СХЕМА

Принципова електрична схема – це технічне зображення, що демонструє функціональні зв'язки між усіма електронними компонентами пристрою, не враховуючи їх фізичного розташування. Така схема дозволяє зрозуміти логіку роботи системи, порядок підключення модулів, особливості сигналів та живлення, а також спрощує процес налаштування, монтажу та обслуговування. У випадку автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці принципова схема відображає, як саме сенсори, керуючі елементи та виконавчі пристрої з'єднані з мікроконтролером і взаємодіють між собою.

Надається за запитом

Рисунок 4.1 – Принципова схема

На рисунку зображено принципову електричну схему системи контролю мікроклімату в теплиці на основі мікроконтролера Arduino Nano. Центральним елементом системи є мікроконтролер, до якого підключено всі сенсори, виконавчі пристрої та інтерфейси взаємодії з користувачем. Для моніторингу температури та вологості повітря використано кілька різних сенсорів. Датчик DHT22 підключено до цифрового входу Arduino і забезпечує вимірювання температури та відносної вологості. Ще один сенсор температури – DS18B20 – є

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

цифровим термометром, який з'єднується по шині 1-Wire. Крім того, застосовано сенсор SHT10, що також вимірює температуру та вологість, і підключається через власний цифровий інтерфейс. Для вимірювання освітленості використано датчик BH1750 що працює через інтерфейс I2C. Також у складі системи є модуль реального часу DS3231 ,який дозволяє точно визначати час доби для реалізації добових режимів роботи системи, зокрема автоматичного поливу або регулювання освітлення.

Дисплей LCD2004 з інтерфейсом I2C використовується для виведення інформації про параметри мікроклімату. Він підключений до спільної I2C-шини, як і деякі інші пристрої (BH1750, DS3231). Для зручності взаємодії користувача із системою реалізовано обертальний енкодер U9 з кнопкою, який дозволяє перемикаєти режими роботи або змінювати налаштування без використання комп'ютера. Також передбачено модуль Bluetooth (S1), що дозволяє передавати дані до смартфона або ПК для моніторингу або налаштування системи.

Виконавчі елементи представлені трьома реле, які дозволяють керувати живленням зовнішніх пристроїв – наприклад, вентиляторами, лампами, обігрівачами або насосами поливу. Кожне реле керується через цифровий вихід Arduino Nano та забезпечене відповідним підключенням: сигнальний вхід SIG, живлення Vcc та заземлення GND. Контакти комутації реле дозволяють використовувати різні режими вмикання навантаження в залежності від логіки роботи.

Усі елементи схеми живляться від стабілізованого джерела живлення +5В, що подається на шину живлення та розподіляється по всіх модулях. Для забезпечення стабільної роботи передбачено підключення Arduino Nano до зовнішнього джерела живлення через роз'єм U8. Всі з'єднання виконані відповідно до специфікацій елементів, що забезпечує надійну роботу всієї системи в умовах теплиці.

Таким чином, дана принципова схема забезпечує повноцінне зчитування мікрокліматичних параметрів, виведення інформації для користувача,

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
						50
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віддалений доступ до даних і автоматичне керування кліматичними умовами всередині теплиці завдяки застосуванню надійних цифрових сенсорів, модулів зберігання часу та виконавчих пристроїв на базі реле.

					<i>ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розробка програмного забезпечення є ключовим етапом у створенні автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці. Програмне забезпечення забезпечує збір, обробку та передачу даних із сенсорів до користувача, а також прийняття рішень на основі заздалегідь визначених алгоритмів. У даному проєкті використано мікроконтролер Arduino Nano та мову програмування C++ із середовищем розробки Arduino IDE. Для підвищення ефективності та зручності керування пристроєм додатково використовується бібліотека GContol, яка значно спрощує обмін даними через серійний інтерфейс.

У розробці автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці важливо не лише реалізувати програмну логіку, а й наочно представити алгоритм її роботи у вигляді блок-схеми. Такий підхід дозволяє краще зрозуміти логіку роботи пристрою, відобразити послідовність дій та взаємозв'язки між компонентами програми. Блок-схема є графічною інтерпретацією основних етапів функціонування прошивки мікроконтролера Arduino Nano, яка керує сенсорами та виконавчими механізмами в теплиці.

Алгоритм системи контролю мікроклімату можна умовно поділити на кілька основних етапів:

1. Початкове увімкнення живлення та ініціалізація компонентів системи.

На цьому етапі мікроконтролер виконує початкове налаштування портів, ініціалізує підключені сенсори DHT22, BH1750, готує інтерфейс для передачі даних (UART або Bluetooth) та запускає необхідні таймери. Також перевіряється готовність системи до прийому команд.

2. Перехід у основний цикл виконання логіки. Після ініціалізації система входить у безперервний цикл, в якому виконується аналіз поточного стану середовища, опитування сенсорів, обробка команд та керування виконавчими пристроями.

3. Зчитування даних з сенсорів.

Програма опитує сенсори з певною періодичністю, наприклад, кожні 2 секунди. Зчитуються температура і вологість повітря (через DHT22), рівень освітлення (через BH1750), а також можуть зчитуватись інші показники, якщо передбачено. Значення зберігаються у відповідних змінних для подальшої обробки.

4. Аналіз отриманих значень.

Система порівнює показники із заданими пороговими значеннями. Якщо температура перевищує граничне значення, активується охолодження або вентиляція. Якщо рівень вологості є нижчим за допустимий — вмикається система поливу. Якщо рівень освітлення є надмірним або недостатнім — можуть активуватись штори або додаткове підсвічування (якщо це реалізовано).

5. Керування виконавчими пристроями.

У відповідь на перевищення чи зниження параметрів, мікроконтролер активує або вимикає відповідні пристрої: вентилятори, реле поливу, нагрівачі тощо. Керування виконується через цифрові виходи контролера.

6. Прийом та обробка зовнішніх команд.

Через серійний інтерфейс (USB або Bluetooth) користувач може надіслати команди у форматі ключ-значення. Наприклад, команда FAN1 активує вентилятор, а SETTEMP25 змінює поріг температури. Бібліотека GyverControl розпізнає ці команди та передає керування до відповідного блоку програми.

7. Надсилання зворотного зв'язку.

Після обробки команди або за розкладом система надсилає поточні значення мікрокліматичних параметрів у вигляді структурованих повідомлень типу TEMP24.6, HUM58.9, LIGHT~312. Це дозволяє користувачу отримувати оперативну інформацію про стан середовища.

8. Повторення

циклу.

Після завершення одного циклу логіка повертається на початок та знову виконує зчитування даних, аналіз та керування.

Цей алгоритм реалізує адаптивну, неблокуючу модель роботи, яка дозволяє системі реагувати на зміни в навколишньому середовищі в режимі реального часу без втрат продуктивності.

Блок-схема, що ілюструє цей алгоритм містить наступні логічні блоки:

- Старт / Ініціалізація компонентів;
- Опитування сенсорів;
- Перевірка температури — умова: більше/менше порогу;
- Увімкнення або вимкнення вентиляції/нагріву;
- Аналіз вологості — активація або вимкнення поливу;
- Аналіз освітлення — за необхідності активація штор/освітлення;
- Обробка зовнішніх команд;
- Виведення даних назад користувачеві;
- Перехід до наступного циклу.

Такий підхід дозволяє чітко зрозуміти, як функціонує система в реальних умовах, та є важливою частиною обґрунтування логіки програмного забезпечення в дипломній роботі.

Для реалізації прошивки було застосовано безкоштовне середовище розробки Arduino IDE, що дозволяє компілювати та завантажувати скетчі безпосередньо на мікроконтролер. Arduino IDE підтримує різні плати, включно з Arduino Nano, та має простий інтерфейс з інтегрованим монітором порту для тестування серійної передачі даних. Під час розробки використовувались додаткові бібліотеки, що розширюють стандартні можливості Arduino, зокрема GContol, DHT, Wire, BH1750 та інші.

Бібліотека — це набір готових функцій, що спрощує програмування. У контексті Arduino, бібліотека дозволяє швидко інтегрувати функціонал для роботи з певними пристроями або протоколами. У цьому проєкті бібліотека

GContol використовується для зручного обміну командами між контролером і комп'ютером (або смартфоном через Bluetooth).

GContol — це універсальна Arduino-бібліотека, яка реалізує простий протокол обміну даними через Serial (UART) або Bluetooth. Вона дозволяє зручно реалізувати інтерфейс керування, де кожна команда передається у форматі `cmd~val`, наприклад `FAN~1`, що вмикає вентилятор. Бібліотека підтримує просту структуру парсингу команд і обробки значень, а також має зворотну передачу даних у вигляді `INFO~DATA`, що корисно для логування або візуалізації параметрів мікроклімату.

Крім того, для взаємодії з сенсорами температури й вологості використовувалась бібліотека `DHT.h`, а для датчика освітленості `BH1750` — бібліотека `BH1750.h`, що реалізує взаємодію по шині I²C через бібліотеку `Wire.h`.

Основна логіка прошивки базується на циклічному опитуванні сенсорів, аналізі отриманих даних та прийнятті рішень відповідно до заданих порогових значень. Алгоритм можна умовно поділити на кілька етапів:

1. Ініціалізація: Встановлення серійного з'єднання, ініціалізація сенсорів, запуск таймерів та підключення бібліотек.
2. Читання даних: Через певні інтервали зчитуються показники температури, вологості та освітленості.
3. Прийняття рішень: Якщо значення параметрів виходять за межі допустимого діапазону, то активуються відповідні виконавчі механізми — вентилятори, підігрів, полив.
4. Комунікація з користувачем: Використовуючи бібліотеку GContol, користувач може через серійний порт надіслати команду для ручного керування або зміни параметрів системи. Наприклад, `FAN~0` вимикає вентилятор, а `TEMPSET~25` задає нову порогову температуру.
5. Зворотній зв'язок: Мікроконтролер надсилає у відповідь оновлену інформацію про стан параметрів, наприклад, `TEMP~24.3`.

Такий підхід забезпечує гнучке керування системою в режимі реального часу та дозволяє як автоматичну, так і ручну корекцію роботи.

Програмне забезпечення використовує неблокуючий підхід — замість затримок типу `delay()` застосовуються таймери на основі функції `millis()`. Це забезпечує безперебійну роботу циклів опитування сенсорів та обробки команд. Такий підхід особливо важливий у системах реального часу, де потрібна оперативна реакція на зміну параметрів середовища.

Кожна команда, що надходить від користувача, обробляється функцією-парсером з `GContol`, яка розбиває повідомлення на ключ і значення. Далі виконується відповідна дія або зберігається нове налаштування. Програма дозволяє легко адаптувати логіку, додаючи нові команди без значної зміни коду.

Висновок по розділу

Розроблене програмне забезпечення є гнучким, масштабованим і легко адаптується під конкретні вимоги теплиці. Завдяки використанню бібліотеки `GContol` вдалося реалізувати зручний канал взаємодії з системою, що підвищує її ергономіку та функціональність. Забезпечено підтримку ручного та автоматичного режимів роботи, що є важливою умовою для системи моніторингу агротехнологіях.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВОК

У даній роботі було проведено комплексну розробку автоматизованої системи контролю мікроклімату в теплиці, яка базується на застосуванні сучасних сенсорних технологій та мікроконтролерного управління. Було здійснено аналіз вимог до кліматичних умов, необхідних для ефективного вирощування рослин, а також виконано порівняльний огляд існуючих рішень у сфері тепличної автоматизації. На основі зібраної інформації було обґрунтовано вибір мікроконтролера Arduino Nano як основного керуючого елемента системи, а також підбрано набір сенсорів для вимірювання температури, вологості повітря й ґрунту, рівня освітлення та концентрації CO₂.

У межах реалізації проєкту було розроблено структурну та принципову схеми системи, алгоритми її функціонування, а також програмне забезпечення для керування виконавчими механізмами. Особлива увага приділялася вибору компонентів, які забезпечують стабільну роботу в умовах підвищеної вологості, характерних для тепличного середовища. Було створено модель корпусу пристрою та здійснено його конструктивне оформлення для забезпечення захисту електроніки.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованого рішення для використання в невеликих сільськогосподарських господарствах, де впровадження автоматизації дозволяє знизити витрати, покращити врожайність і зменшити залежність від людського фактора. Робота має прикладне значення, відзначається високим ступенем інженерної опрацьованості та відповідає сучасним вимогам до систем точного землеробства.

					ДП.ПМ-11.11.22.000.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

- [1] AgroPeak, Temperature Strategy. [Електронний ресурс] URL:
<https://agropeak.com.ua/portfolio/temperature-strategy/>
- [2] Holtop, ERV Controllers. [Електронний ресурс] URL:
<https://www.holtop.com/uk/erv-controllers.html>
- [3] DS18B20 Datasheet. [Електронний ресурс] URL:
<https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds18b20>
- [4] Radio-Detaly, Терморезистори та термопари. [Електронний ресурс]
URL: <https://radio-detaly.com/termorezistori-termopari>
- [5] Everything RF, What is the IP67 Rating? [Електронний ресурс] URL:
<https://www.everythingrf.com/community/what-is-the-ip67-rating>
- [6] 1Wire, SHT31 I2C датчик вологості. [Електронний ресурс] URL:
<https://1wire.com.ua/sht31-i2c-datchik-vlazhnosti.html>
- [7] Everything RF, ESP32 Wireless SoC. [Електронний ресурс] URL:
<https://www.everythingrf.com/products/wireless-soc-s/espressif-systems/787-971-esp32>
- [8] Raspberry Pi Foundation, Офіційний сайт. [Електронний ресурс] URL:
<http://raspberrypi.com/>
- [9] Schneider Electric Україна. [Електронний ресурс] URL:
<https://www.se.com/ua/uk/>
- [10] SEA Ukraine, Програмовані логічні контролери. [Електронний ресурс]
URL: <https://www.sea.com.ua/ua/promyshlennyye-kompyutery/programmiruemye-logiceskie-kontrollery/>
- [11] Arduino Ukraine, Arduino Nano. [Електронний ресурс] URL:
<https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano>
- [12] Arduino Ukraine, LCD 2004 I2C дисплей. [Електронний ресурс] URL:
<https://arduino.ua/ru/prod663-lcd-2004-i2c-simvolnii-displei-20x4-sinii>

- [13] Arduino Ukraine, DHT22 – датчик вологості і температури.
[Електронний ресурс] URL: <https://arduino.ua/ru/prod301-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22>
- [14] Arduino Ukraine, DS18B20 цифровий датчик температури.
[Електронний ресурс] URL: <https://arduino.ua/ru/prod190-datchik-temperatyri-ds18b20-cifrovoi>
- [15] Winsen, MH-Z19C CO₂ Sensor. [Електронний ресурс] URL: <https://www.winsen-sensor.com/product/mh-z19c.html>
- [16] Sensirion, SHT10 на Octopart. [Електронний ресурс] URL: <https://octopart.com/sht10-sensirion-30813353>
- [17] Arduino Ukraine, BH1750FVI – цифровий датчик освітленості.
[Електронний ресурс] URL: <https://arduino.ua/ru/prod1116-datchik-osveshennosti-cifrovoi-bh1750fvi>
- [18] Привод-Київ, Енкодери. [Електронний ресурс] URL: <https://privod.kiev.ua/enkodery>
- [19] DS3231 Datasheet. [Електронний ресурс] URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds3231>
- [20] DS3231 Datasheet (повторне джерело). [Електронний ресурс] URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds3231>
- [21] Vents-Shop, Вентилятор Домовент 100 ВКО. [Електронний ресурс] URL: <https://vents-shop.com.ua/ventilyator-domovent-100-vko/>
- [22] Dnipro-M, Насос садовий ГП-600. [Електронний ресурс] URL: <https://dnipro-m.ua/ru/tovar/nasos-sadovij-gp-600/>
- [23] Svetotekhnika.kh.ua, Фітолампи для рослин. [Електронний ресурс] URL: <https://svetotekhnika.kh.ua/ua/g61714548-fitosvetilniki-fitolampy-dlya>