

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 631.464:004.932:004.78:004.422

<p>ПОГОДЖЕНО</p> <p>Декан факультету Інформаційних технологій</p> <p>_____ <u>Болбот І.М., д.т.н, проф.</u> підпис ПІБ, вчене звання і ступінь</p> <p>«__» _____ 2024 р.</p>	<p>ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ</p> <p>Завідувач кафедри Комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки</p> <p>_____ <u>Касаткін Д.Ю., к.п.н., доц.</u> підпис ПІБ, вчене звання і ступінь</p> <p>«__» _____ 2024 р.</p>
---	--

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

На тему: «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління теплицею»

Спеціальність «123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма: Комп'ютерні системи і мережі

Орієнтація освітньої програми: Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проекту

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ-2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
завідувач кафедри
комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
/ Касаткін Д.Ю., к.п.н., доц. /
_____ / _____
підпис ПІБ, вчене звання і ступінь
«__» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ СТУДЕНТУ

Довгополий Владислав Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність (напрямок підготовки): комп'ютерна інженерія _____

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “_____” _____ 20__ р. № _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи _____

Перелік питань, що підлягають розробці:

1. _____
2. _____
3. _____

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “_____” _____ 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____ Місюра М. Д., к.т.н., доцент. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Довгополий В. С. _____
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області		Виконано
2	Проектування системи		Виконано
3	Реалізація системи		Виконано
4	Тестування системи		Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки		Виконано
6	Оформлення графічного матеріалу		Виконано

Студент

_____ (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 сторінки, 37 рисунків, 6 лістингів, 2 додатка, 23 джерела.

Тема дослідження: Автоматизація управління мікрокліматом у теплиці з використанням комп'ютерно інтегрованих технологій.

Предметом дослідження є методи та технології автоматизації мікроклімату в теплиці, включаючи розробку та інтеграцію комп'ютерної системи управління для забезпечення оптимальних умов вирощування рослин..

Об'єктом аналізу виступає комплексна автоматизована теплиця, яка забезпечує оптимальні умови для вирощування рослин незалежно від кліматичних змін..

Мета дипломного проекту полягає в проектуванні та реалізації комп'ютерно інтегрованої автоматизованої системи управління теплицею.

До завдання дипломного проекту відноситься покращення якості та кількості врожаю за допомогою використання технологій управління теплицею за допомогою мікроконтролера.

Для виконання цього проекту використовувалася програмна платформа Tinkercad, яка потрібна для створення схеми проекту, а також програмна платформа для роботи з програмним забезпеченням для мікроконтролерів – Arduino IDE.

В процесі було розроблено комп'ютерно інтегровану систему управління теплицею разом з аналізом подібних систем і особливостей роботи з розумними теплицями.

Одержані результати можуть бути широко застосовані в різноманітних типах теплиць завдяки гнучкості та масштабованості розробленої комп'ютерної системи управління.

Розробив	Довгополій В.С.			<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Місюра М. Д.					4	

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЯМИ	10
1.1 Технології автоматизації та управління у сільському господарстві	10
1.2. Системи моніторингу клімату та стану рослин	15
1.3. Використання бездротових технологій та IoT у системах підтримки мікроклімату	18
1.4. МК Arduino і їх особливості.	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ	26
2.1 Основи побудови автоматизованих систем керування	26
2.2 Параметри та вимоги до системи управління теплицею	30
2.3 Програмно-апаратна архітектура інтегрованої системи управління теплицею	33
3 АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ У ТЕПЛИЦІ	37
3.1 Датчик температури повітря.....	37
3.2 Датчик вологості ґрунту.....	41
3.3 Датчик світла.	44
3.4 Спринклер.	49
3.5 Вентиляційна система.....	54
3.6 Система зашторювання та освітлення теплиці.	57
3.7 Система опалення теплиці.	59
4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ	61

4.1 Апаратна реалізація моделі та підключення її елементів	61
4.1.1 Система зрошення теплиці.	63
4.1.2 Система вентиляції та опалення теплиці.....	66
4.1.2 Система керування освітленням теплиці.	69
4.1.2 Система керування освітленням теплиці.	71
4.2 Програмне забезпечення для моделювання системи управління теплицею	73
4.2.1 Блок системи вентиляції та опалення теплиці.....	74
4.2.2 Блок системи освітлення теплиці.....	78
4.2.3 Блок системи зрошення теплиці.....	80
4.2.4 Блок системи виведення інформації.	82
5 ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ	85
5.1 Тестування проекту.....	85
5.2 Аналіз продуктивності та ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління теплицею	89
5.3 Аналіз економічної ефективності системи.....	92
ВИСНОВОК.....	94
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	96

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

МК – мікроконтролер

FDR - частотна рефлектометрія , на англійській мові - Frequency Domain Reflectometry

TDR - часова рефлектометрія, на англійській мові - Time Domain Reflectometry

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index - простий кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси (що зазвичай називається вегетаційним індексом).

IoT – Internet of Things - система фізичних об'єктів («речей»), взаємопов'язаних між собою за допомогою вбудованих датчиків, програмного забезпечення та/або інших технологій..

ШІ – штучний інтелект.

HID – Human Interface Device - стандарт підключення через універсальну послідовну шину комп'ютерних пристроїв вводу-виводу,

АСК – автоматизовані системи керування.

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition - програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

HMI - Human-Machine Interface - інженерні рішення, котрі забезпечують взаємодію оператора з керованими ним машинами

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Теплиці є важливим досягненням у галузі сільськогосподарської технології, оскільки дозволяють вирощувати рослини в контрольованих умовах незалежно від пори року та кліматичних умов. Це надає можливість підтримувати оптимальні умови для росту рослин, що особливо актуально у регіонах з суворим кліматом або обмеженим доступом до якісних сільськогосподарських земель. Промислові теплиці стали ключовим елементом сільськогосподарської галузі, оскільки забезпечують постачання свіжих овочів і фруктів протягом усього року. Це сприяє поліпшенню харчування населення, забезпечуючи вітаміни та необхідні мікроелементи в раціоні, незалежно від сезону.

Вирощування рослин у теплицях дозволяє контролювати основні параметри мікроклімату, такі як температура, вологість, освітлення та аерація, які суттєво впливають на ріст і розвиток рослин. Завдяки такому контролю вдається досягти високої продуктивності та покращеної якості врожаю. У теплицях також можна значно знизити ризик ураження рослин шкідниками та хворобами, оскільки ізольоване середовище полегшує контроль за екосистемою. Крім того, контрольований полив і зменшене використання добрив дозволяють економніше використовувати земельні й водні ресурси. Це робить теплиці особливо привабливими для сталого ведення сільського господарства. Теплиця, де для забезпечення оптимальних умов росту рослин потрібно мінімум втручання з боку оператора, має відповідати ряду вимог: всередині автоматично підтримувати оптимальний температурний режим, забезпечувати своєчасний полив без участі людського фактора, а також передбачати можливість дистанційного керування та моніторингу.

Існують дві основні категорії автоматизованих теплиць: автономні та енергозалежні. Енергозалежні теплиці можуть підтримувати майже ідеальні умови для росту овочевих культур завдяки використанню електричної мережі для

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		8

живлення всіх автоматизованих елементів. Проте їхня залежність від електроенергії має суттєві ризики. У разі аварійних відключень електроенергії теплиця може зазнати серйозних збитків через швидке зниження температури та відсутність поливу, особливо взимку, коли критичним може стати навіть кількагодинне вимкнення. Висока вартість обладнання та електроенергії також може стати вагомою перешкодою для встановлення енергозалежних теплиць. Альтернативним варіантом є автономні теплиці, які використовують сонячну та теплову енергію, забезпечуючи основні функції навіть за відсутності електромережі. Хоча автономні теплиці реагують на зміни мікроклімату із запізненням, вони зазвичай добре справляються із підтримкою умов, за винятком різких змін температури, що може потребувати додаткових заходів.

Об'єктом дослідження є розумна теплиця, що має комплексне автоматичне управління мікрокліматом. Предметом дослідження виступають принципи розробки розумної теплиці, вибір відповідного обладнання та його інтеграція у систему керування. Основною метою є створення системи автоматичного керування обладнанням для розумної теплиці, яка дозволить мінімізувати людське втручання і підвищити продуктивність. Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання: розробити алгоритми управління та регулювання кліматичних параметрів, вибрати електрообладнання, а також дослідити функціональну структуру та принципи роботи автоматизованої теплиці.

Таким чином, автоматизація теплиць надає можливість створення ефективної та стабільної системи для вирощування рослин з мінімальними витратами ресурсів та часу. Впровадження розумних систем керування дозволяє значно підвищити врожайність і знизити операційні витрати, роблячи сільське господарство більш доступним і стійким навіть у несприятливих кліматичних умовах.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
						9
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЯМИ

1.1 Технології автоматизації та управління у сільському господарстві

Автоматизація та управління у сільському господарстві є ключовими процесами, що інтегрують сучасні технології з метою підвищення продуктивності, ефективності та точності аграрного виробництва. Ці технології охоплюють різні аспекти сільського господарства, зокрема обробку ґрунту, посів, зрошення, управління живленням, моніторинг стану рослин, збір урожаю та догляд за тваринами. Основними напрямками розвитку автоматизації в агросекторі є використання IoT, дронів, робототехніки[1], сенсорів, ШІ і машинного навчання, систем точного землеробства та автономних тракторів.

Технології інтернету речей дозволяють створювати з'єднання між різними датчиками і пристроями для збору та обробки даних в режимі реального часу. IoT[2] застосовується для моніторингу вологості ґрунту, температури, рівня рН, контролю освітлення, а також для оцінки стану рослин та тварин. Наприклад, використовуючи датчики вологості та температури, фермери можуть оптимально планувати полив, уникаючи пересушення чи надмірного зволоження ґрунту. Сенсори також допомагають відстежувати рівень хлорофілу в рослинах для оцінки фотосинтетичної активності, а системи контролю температури та вологості є важливими в тепличному господарстві, що дозволяє створювати оптимальні умови для рослин. У тваринництві датчики IoT можуть бути використані для моніторингу здоров'я тварин, спостереження за їхньою активністю та швидкого реагування на ознаки захворювань. Системи точного землеробства базуються на обробці

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		10

даних для оптимізації методів обробітку і підвищення ефективності. Вони дозволяють створювати карти полів[3] та використовувати їх спираючись на характеристики ґрунту, що полегшує планування агротехнічних заходів. Приклад створеної карти поля, зображений на рис.1.1.

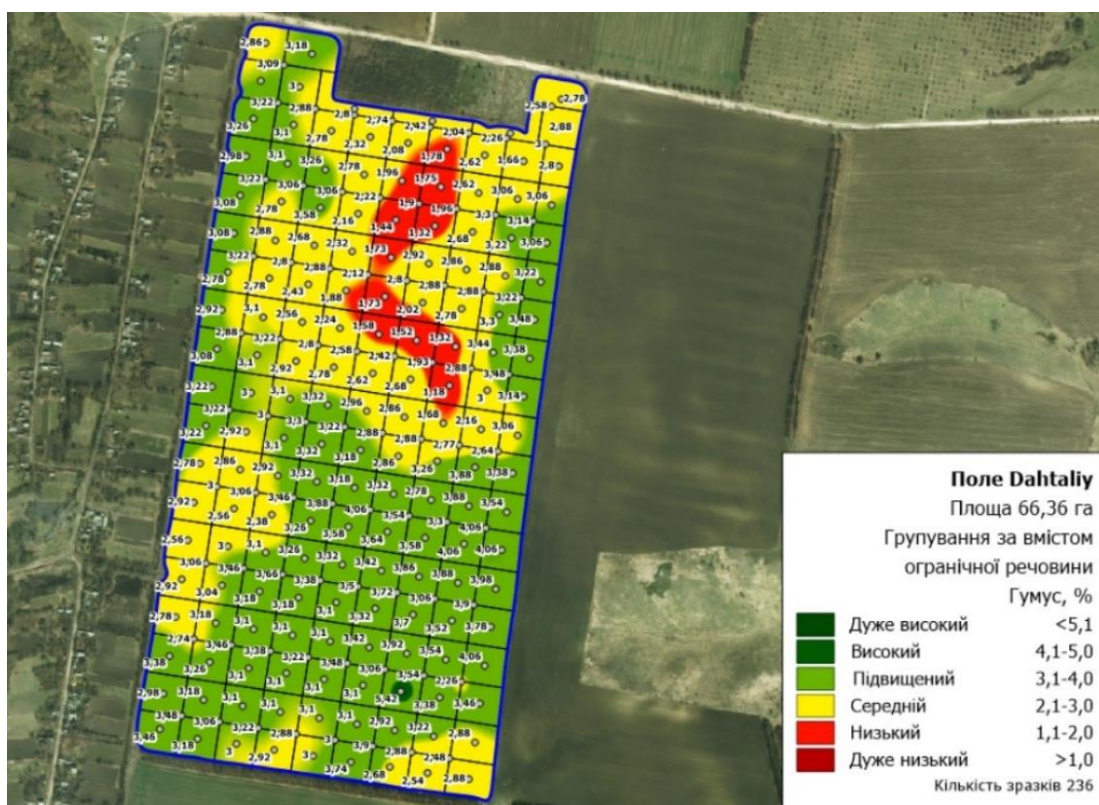


Рис. 1.1 Карта поля, створена геоінформаційною системою на основі даних агрохімічного аналізу

Диференційоване внесення добрив та пестицидів на основі потреб кожної зони дозволяє знизити витрати і мінімізувати шкоду для навколишнього середовища. Комбайни з вбудованими сенсорами можуть вимірювати врожайність на кожній ділянці поля, що допомагає визначати найбільш продуктивні зони та планувати обробіток на наступний сезон.

Робототехніка і дрони[1] значно полегшують виконання важких фізичних завдань і здатні підвищити точність у посіві, обробці і зборі врожаю. Наприклад, автономні роботи можуть самостійно висаджувати насіння на

потрібну глибину і відстань, а роботи для збору врожаю, оснащені сенсорами, здатні ідентифікувати стиглі плоди. Робот Dogtooth Technologies[4], зображений на рис. 1.2 призначений для збору м'яких фруктів. Він здатний автономно пересуватися по рядах культур, знаходити і збирати стиглі фрукти, сортувати зібрані ягоди і фасувати їх в упаковки. Після збору ягід відеокамери оглядають плід з усіх боків, щоб визначити сорт, форму, виміряти масу, виявити дефекти (вм'ятини, цвіль і т. д.). Відбраковані плоди поміщаються в сміттєві контейнери. Сортування плодів і їх упаковка відбувається на місці, тому додаткові витрати на працю сортувальників виключені, а продукт надходить на прилавки швидше. Орієнтація в просторі відбувається за допомогою високоточних координат GPS.



Рис. 1.2 Автономний робот Dogtooth Technologies

Дрони використовуються для моніторингу стану рослинності, здійснюють аерофотозйомку[5], що дозволяє фермерам створювати точні карти полів і своєчасно збирати інформацію про стан ґрунту. На рис. 1.3 зображений дрон, оснащений для аерофотозйомки. Крім того, дрони

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		12

застосовуються для обприскування полів добривами або пестицидами, що є особливо ефективним в важкодоступних місцях.



Рис. 1.3 Дрон, який виконує аерофотозйомку

Штучний інтелект і машинне навчання дозволяють автоматично аналізувати великі обсяги даних і приймати ефективні рішення в реальному часі[6]. Наприклад, ШІ аналізує дані про врожайність, погодні умови, стан ґрунту, що дозволяє виявляти закономірності, які є корисними для прогнозування продуктивності. Машинне навчання допомагає ідентифікувати шкідників і захворювання рослин на ранніх стадіях за допомогою обробки зображень[7], що дозволяє своєчасно реагувати на загрози для врожаю. Прогнозування погодних умов на основі алгоритмів машинного навчання дозволяє більш точно планувати польові роботи, враховуючи вплив кліматичних факторів на врожайність. Також ШІ оптимізує використання

ресурсів, таких як вода, добрива і пестициди, що знижує витрати і мінімізує екологічний вплив.

Безпілотні трактори і сільськогосподарські машини стають дедалі більш популярними через можливість працювати автономно. Трактори з GPS і ШІ можуть виконувати завдання з оранки, посіву, підживлення та збору врожаю без участі оператора. Завдяки точній навігації ці машини знижують ризик помилок, пов'язаних із людським фактором. Інтелектуальні комбайни, оснащені сенсорами, можуть вимірювати врожайність, вологість зерна і його забрудненість, автоматично налаштовуючи параметри роботи машини, що забезпечує оптимальні умови для збору врожаю. Приклад такого комбайну зображено на рис. 1.4.



Рис. 1.5 Безпілотний комбайн в робочих умовах

Системи управління фермою інтегрують дані з різних джерел, включно із сенсорами, дронами, IoT-пристроями і прогнозами погоди, дозволяючи фермерам централізовано управляти ресурсами, планувати агротехнічні заходи і контролювати витрати та доходи. Вони спрощують ведення обліку й підвищують ефективність рутинних завдань. Супутниковий моніторинг та обробка даних дають змогу створювати точні карти полів, аналізувати зміни у

врожайності, вологості ґрунту, рослинності та інших параметрах, що дозволяє оптимізувати процеси обробітку полів.

Автоматизація також застосовується у тваринництві[6], зокрема, в автоматизованих системах годування, доїння і моніторингу стану здоров'я тварин. Системи автоматичного годування дозують корм відповідно до індивідуальних потреб кожної тварини, що підвищує продуктивність і знижує витрати на корми. Автоматичні доїльні установки знижують стрес тварин та сприяють підвищенню якості молока. Моніторинг здоров'я тварин за допомогою сенсорів дозволяє своєчасно виявляти захворювання і запобігати їхньому поширенню. Технології автоматизації та управління в сільському господарстві забезпечують стабільний високий врожай, зменшують витрати, оптимізують використання ресурсів і знижують негативний вплив на навколишнє середовище, що є особливо важливим в умовах зміни клімату і обмежених природних ресурсів.

1.2. Системи моніторингу клімату та стану рослин

Системи моніторингу клімату та стану рослин є одним із найважливіших елементів сучасного сільського господарства. Вони дозволяють фермерам збирати точні дані про навколишнє середовище та стан культур у реальному часі, приймати обґрунтовані рішення, які підвищують врожайність і зменшують використання ресурсів. Ці системи охоплюють широкий спектр технологій, зокрема метеостанції, IoT-сенсори, супутникові системи спостереження, дрони, а також системи штучного інтелекту для обробки й аналізу зібраних даних.

Система моніторингу клімату в сільському господарстві зазвичай базується на встановленні метеостанцій та датчиків на полях, що збирають інформацію про такі ключові параметри, як температура, вологість, рівень

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		15

опадів, швидкість і напрям вітру, інтенсивність сонячного випромінювання, рівень ультрафіолету та інші фактори[8]. Завдяки такій інформації аграрії можуть адаптувати польові роботи відповідно до погодних умов, уникати несприятливих моментів для посадки, збирання або поливу, а також прогнозувати можливий вплив клімату на розвиток культур. Дані з метеостанцій інтегруються з іншими джерелами інформації, зокрема з даними супутників, що забезпечує повну картину кліматичних умов на кожному конкретному полі.

Системи моніторингу стану рослин покликані контролювати стан культур і виявляти можливі проблеми на ранніх етапах. Зазвичай вони використовують IoT-сенсори, дрони та супутникові знімки для збору інформації про рослини. IoT-сенсори розміщуються безпосередньо в полях і фіксують параметри вологості ґрунту, температуру, рівень рН, вміст поживних речовин, якість повітря та інші показники, важливі для розвитку рослин. Спеціалізовані сенсори можуть також вимірювати фотосинтетичну активність культур, що дозволяє вчасно реагувати на брак освітлення, води або поживних речовин.

Дрони стали надзвичайно популярним інструментом у моніторингу стану рослин завдяки їхній мобільності, швидкості збору даних та можливості оцінювати великі площі за короткий час. Вони оснащені камерами і різноманітними сенсорами, зокрема тепловими або мультиспектральними камерами, які можуть фіксувати стан рослин з висоти. Це дає можливість ідентифікувати проблеми, такі як нестача вологи, шкідники чи хвороби, на початкових етапах розвитку. Наприклад, теплові камери можуть виявити ділянки, де температура рослин підвищена, що часто вказує на зневоднення або стрес. Мультиспектральні знімки дозволяють вимірювати вміст хлорофілу і загальний стан здоров'я рослин, що допомагає фермерам визначити оптимальні зони для внесення добрив або додаткового поливу.

Супутниковий моніторинг має важливе значення для аналізу великих площ та відстеження змін у стані культур протягом тривалого часу. Супутникові знімки дозволяють фіксувати не тільки загальний стан полів, а й виявляти регіональні аномалії, спричинені зміною погоди чи іншими факторами. Використовуючи індекси рослинності, такі як NDVI, фермери можуть аналізувати рівень фотосинтетичної активності та оцінювати стан культур. Цей індекс показує, наскільки активно рослини перетворюють сонячне світло в енергію, і є надійним показником здоров'я рослин.

Обробка великих обсягів даних, отриманих з датчиків, дронів та супутників, потребує сучасних систем аналітики та обчислювальної потужності. Системи штучного інтелекту та машинного навчання допомагають аграріям обробляти ці дані, виявляти закономірності та передбачати можливі проблеми. ШІ аналізує історичні дані, кліматичні умови та інформацію про попередні врожаї, що дозволяє прогнозувати врожайність і розробляти рекомендації щодо оптимізації агротехнічних заходів. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть виявляти ранні ознаки захворювань або появу шкідників, порівнюючи теперішні дані з історичними шаблонами. Це дозволяє уникати використання зайвих хімічних засобів, а отже, зменшує витрати і знижує вплив на навколишнє середовище.

Ще одним важливим компонентом є індивідуалізація моніторингу для кожного поля і культури. Дані про стан рослин і кліматичні умови можуть бути оброблені в системах управління фермою, які дозволяють автоматично адаптувати план дій відповідно до потреб конкретного поля. Наприклад, якщо в окремій частині поля виявлено нестачу вологи або поживних речовин, системи можуть автоматично рекомендувати збільшити полив чи додати добрива, що забезпечує індивідуалізований підхід до кожної ділянки.

Інтегровані системи моніторингу клімату та стану рослин мають важливе значення для зменшення екологічного навантаження. Вони

дозволяють знизити витрати на воду, добрива та пестициди, оскільки дані, зібрані в режимі реального часу, дозволяють оптимально використовувати ці ресурси. Наприклад, точні показники вологості ґрунту дозволяють уникати зайвого поливу, що знижує витрати води і запобігає ерозії ґрунту. Також аналіз стану рослин і прогнозування погоди допомагає уникати надмірного використання хімічних засобів захисту, що сприяє збереженню екологічного балансу.

Таким чином, системи моніторингу клімату та стану рослин є важливим інструментом для підвищення врожайності, зменшення витрат і збереження навколишнього середовища. Їхнє використання допомагає створити ефективне і стале сільське господарство, яке адаптоване до сучасних кліматичних викликів та забезпечує високу якість і безпеку продуктів харчування. Інтеграція різних технологій – метеостанцій, IoT-сенсорів, дронів, супутникових систем та штучного інтелекту – дозволяє створити повний цикл моніторингу і прийняття рішень, що відповідає потребам сучасного аграрного сектору.

1.3. Використання бездротових технологій та IoT у системах підтримки мікроклімату

Порівняльний аналіз сучасних комп'ютерно інтегрованих систем управління теплицями є важливим для визначення оптимальної системи, яка найкраще відповідатиме конкретним вимогам і умовам вирощування. Сучасні теплиці мають високий рівень автоматизації і використовують комп'ютерно інтегровані системи управління, що дозволяють оптимізувати процеси росту культур, покращувати якість продукції, знижувати витрати на ресурси і підвищувати загальну ефективність. Ці системи забезпечують контроль за ключовими параметрами, такими як температура, вологість, рівень освітлення,

концентрація CO₂, вентиляція, полив, внесення добрив і захист від шкідників. Вони відрізняються за типами технологій, архітектурою системи, рівнем автоматизації, типами сенсорів і алгоритмів управління, що робить порівняння їхніх особливостей і продуктивності особливо важливим.

На ринку представлені різні типи комп'ютерно інтегрованих систем управління для теплиць, які можна розділити на локальні системи управління (локальні контролери), централізовані системи управління і розподілені інтегровані системи. Локальні системи управління зазвичай складаються з незалежних контролерів, які керують окремими аспектами функціонування теплиці (наприклад, зрошенням або вентиляцією) та обмежено взаємодіють між собою. Такі системи простіші й дешевші, однак їхня ефективність часто нижча, ніж у централізованих і розподілених систем, які забезпечують комплексне управління.

Централізовані комп'ютерно інтегровані системи об'єднують всі функції теплиці в одному головному комп'ютері, який збирає дані з сенсорів, обробляє їх та управляє всіма процесами. Вони забезпечують точний контроль за всіма параметрами, однак є менш гнучкими, оскільки будь-який збій центрального модуля може вплинути на всю систему. Порівняно з ними, розподілені інтегровані системи є більш адаптивними і стійкими до помилок, оскільки мають децентралізовану архітектуру. У таких системах кожен модуль працює автономно і може обмінюватися інформацією з іншими модулями, що дозволяє ефективно функціонувати навіть у разі виходу з ладу одного з компонентів. Розподілені системи є особливо корисними для великих тепличних комплексів, де необхідний більш детальний контроль.

Порівнюючи системи управління за типами сенсорів, можна виділити моделі, що працюють із базовими датчиками температури, вологості, CO₂, освітленості та вологості ґрунту, а також системи з широким спектром сенсорів, включно з оптичними та ультразвуковими сенсорами,

спектрофотометрами та інфрачервоними сенсорами для точного контролю кожного параметра. Чим більше показників контролюється, тим точніше система здатна регулювати умови всередині теплиці, однак це також збільшує складність і вартість системи. Зокрема, сенсори, що контролюють рівень поживних речовин у розчині для гідропоніки або параметри освітлення на основі спектрофотометрії, дозволяють забезпечувати найоптимальніші умови для культур із різними вимогами.

Системи управління теплицями можна також класифікувати за рівнем автоматизації. Простіші системи часто використовують програмовані логічні контролери, що дозволяють автоматизувати окремі процеси, такі як полив і вентиляція. Більш розвинені комп'ютерно інтегровані системи базуються на алгоритмах машинного навчання та штучного інтелекту, що дозволяють здійснювати динамічний контроль за умовами у теплиці на основі аналізу історичних і поточних даних. Використання ШІ та машинного навчання дозволяє системам прогнозувати розвиток рослин, зважаючи на зміни кліматичних умов і коригувати налаштування автоматично, що підвищує врожайність і знижує витрати на ресурси.

Інтеграція з системами IoT є ще однією важливою характеристикою сучасних систем управління теплицями[9]. IoT-технології дозволяють об'єднати сенсори та контролери з мережею, забезпечуючи передачу даних у реальному часі на мобільні пристрої або комп'ютери. Це значно покращує доступність інформації для користувачів, які можуть відстежувати стан теплиці і контролювати процеси дистанційно. Наприклад, фермери можуть за допомогою мобільного додатка переглядати поточні показники температури, вологості або рівня CO₂ в теплиці та вносити необхідні зміни. Деякі системи також дозволяють використовувати аналітичні програми на основі штучного інтелекту, що аналізують дані в реальному часі, пропонуючи рекомендації для коригування налаштувань.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		20

Системи управління з різними типами алгоритмів мають різний рівень продуктивності та адаптивності. Зокрема, прості системи з лінійними алгоритмами контролюють параметри за чітко визначеними правилами, однак не завжди здатні швидко реагувати на зміни умов. Натомість адаптивні системи з використанням штучного інтелекту дозволяють автоматично оптимізувати процеси на основі вивчення минулих даних та прогнозування можливих змін. Наприклад, вони можуть регулювати систему поливу та живлення рослин залежно від прогнозу погоди, очікуваних змін температури або інтенсивності сонячного світла. Використання штучного інтелекту в таких системах також дозволяє знижувати витрати, оскільки алгоритми оптимізують кількість використовуваної води, добрив і електроенергії, що особливо важливо в умовах дефіциту ресурсів.

Порівняльний аналіз показує, що інтегровані системи управління теплицями можуть мати різні рівні функціональності залежно від їх складності та призначення. Найсучасніші системи пропонують можливості для точного контролю всіх параметрів середовища, мають модулі прогнозування та аналітики, а також можливість інтеграції з іншими системами ферми. Наприклад, модульні системи дозволяють поступово розширювати можливості управління теплицею, додаючи нові функції відповідно до потреб господарства. Системи, що використовують інтелектуальні алгоритми прогнозування та адаптації, є кращим вибором для комерційних фермерських господарств, оскільки вони забезпечують високу ефективність і сталість у довгостроковій перспективі.

Таким чином, порівняльний аналіз сучасних комп'ютерно інтегрованих систем управління теплицями показує, що вибір конкретної системи має базуватися на потребах та специфіці виробництва, доступному бюджету, а також можливості інтеграції з іншими елементами аграрного комплексу. Відповідний рівень автоматизації, тип сенсорів, адаптивність алгоритмів і

підтримка IoT є ключовими факторами, які визначають ефективність таких систем у забезпеченні оптимальних умов для вирощування культур.

1.4. МК Arduino і їх особливості.

Arduino — це відкрита апаратно-програмна платформа, призначена для створення електронних пристроїв, здатних взаємодіяти з навколишнім середовищем. Вона включає в себе мікроконтролер, який є основним елементом системи, та програмне забезпечення, яке дозволяє користувачам писати програми для управління різноманітними пристроями та сенсорами.

Один із найпопулярніших варіантів — Arduino Uno (Рис. 1.6), що базується на мікроконтролері Atmega328P [10]. Ця плата є однією з основних для розробки різноманітних проектів завдяки своїй простоті, універсальності та великій кількості доступних бібліотек. Вона має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть використовуватися як аналогові виходи) і підтримує інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART, що дозволяє підключати різні датчики, елементи керування, дисплеї тощо.

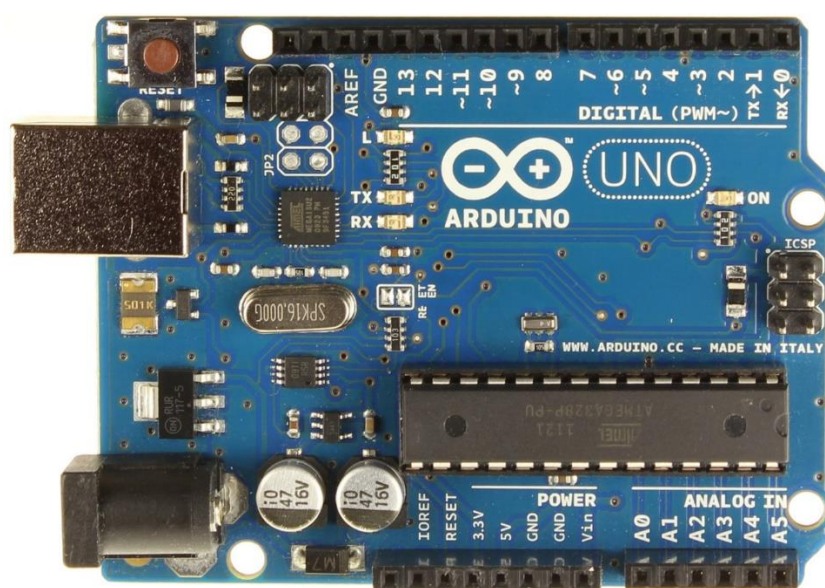


Рис. 1.6 МК Arduino Uno

Крім того, існують й інші моделі Arduino[11], які мають різні характеристики:

- Arduino Mega — має більше пінів вводу/виводу, більшу пам'ять, що робить її ідеальною для складніших проектів з великою кількістю підключених компонентів[12];

- Arduino Leonardo[13] — підтримує інтерфейс USB HID, що дозволяє використовувати його як мишу або клавіатуру для комп'ютера;

- Arduino Nano[15] — компактна версія плати, що має менші розміри, але зберігає всі основні функціональні можливості.

Усі ці плати мають спільну рису: вони забезпечують доступ до простого інтерфейсу для програмування і налаштування, що робить Arduino популярною платформою для як професійних, так і аматорських проектів у галузі електроніки та автоматизації.

Arduino використовує мову програмування, яка є простою та зручною для початківців, але також потужною і гнучкою для досвідчених розробників. Мова програмування Arduino базується на C/C++ і є схожою на мову Wiring, що робить її ідеальною для створення різноманітних проектів, від простих до складних.

Особливістю платформи Arduino є її велика бібліотека готових функцій і прикладів коду, що значно спрощує процес розробки. Величезна підтримка спільноти також є важливим фактором, оскільки вона активно ділиться проектами та допомагає в рішенні проблем, що можуть виникнути під час розробки.

Розширюваність — ще одна ключова перевага Arduino. Платформа дозволяє підключати безліч різних датчиків, актуаторів, дисплеїв, комунікаційних модулів і багато іншого, що відкриває безмежні можливості для створення проектів. Наприклад, до МК Arduino можна підключити

датчики температури, вологості, освітлення, а також різноманітні сервоприводи, реле, двигуни постійного струму та інші пристрої.

Однією з основних переваг Arduino є наявність власного інтегрованого середовища розробки. Це середовище надає зручний інтерфейс для написання та компіляції коду, завантаження його на мікроконтролер і налагодження проектів. IDE підтримує всі плати Arduino, а також сумісні моделі, що робить її універсальним інструментом для розробки.

Для більш складних IoT-проектів Arduino пропонує додаткові модулі, такі як ESP8266[15] та ESP32[16], які надають можливості для бездротового зв'язку через Wi-Fi та Bluetooth. Це дозволяє створювати проекти для IoT, мережеві додатки, автоматизовані системи для розумних будинків та багато інших технологічних рішень. Наприклад, за допомогою ESP8266 можна підключити Arduino до Wi-Fi і створювати програми, які взаємодіють з онлайн-сервісами, збирають дані з датчиків і передають їх через Інтернет (як показано на Рис. 1.7).

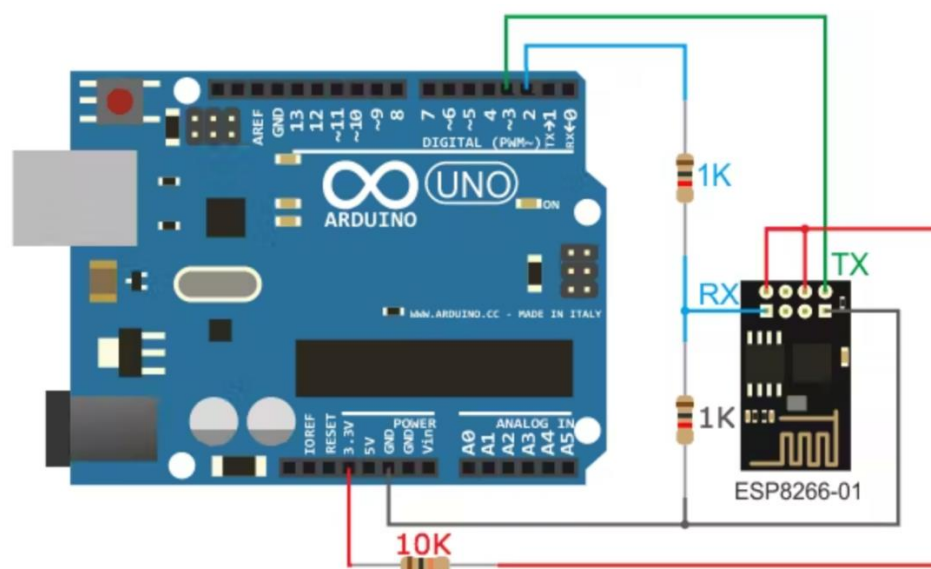


Рис. 1.7 Приклад підключення Wi-Fi модуля ESP8266 до МК Arduino UNO

Arduino є однією з найпопулярніших платформ для навчання програмуванню, електроніці та робототехніці. Її простота у використанні і

доступність роблять її ідеальним інструментом для студентів, які тільки починають вивчати основи цих дисциплін. Завдяки простому мікроконтролеру та інтуїтивно зрозумілому програмному забезпеченню, Arduino дозволяє швидко створювати прототипи та експериментувати з різними компонентами, такими як датчики, актуатори та електронні схеми.

Активна спільнота Arduino постійно додає нові бібліотеки, приклади коду і документацію, що дозволяє користувачам швидко знаходити рішення для своїх проєктів. Це також допомагає зменшити час на розробку та тестування, адже є велика кількість вже готових рішень для різних завдань.

Arduino відкриває перед розробниками великі можливості для втілення їхніх ідей, дозволяючи створювати пристрої, що безпосередньо взаємодіють із реальним світом. Завдяки широким можливостям розширення (підключення різноманітних датчиків, модулів та виконавчих механізмів), Arduino є універсальним інструментом як для початківців, так і для досвідчених інженерів і розробників. Вона стала основою для багатьох інноваційних проєктів, від стартапів до освітніх ініціатив.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		25

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ

2.1 Основи побудови автоматизованих систем керування

Основи побудови АСК охоплюють принципи, методи і засоби створення систем, що забезпечують автоматичне регулювання і управління технологічними процесами, технічними об'єктами, або іншими видами діяльності. Основна мета АСК – зниження участі людини у процесах керування, оптимізація виробничих процесів, підвищення ефективності та надійності системи, що дозволяє зменшити витрати і підвищити якість виконання задач. Автоматизовані системи керування використовуються у промисловості, транспорті, енергетиці, сільському господарстві, а також у сферах охорони здоров'я, освіти та багатьох інших галузях. Їх основою є апаратні та програмні засоби, що дозволяють здійснювати моніторинг і управління об'єктом за допомогою взаємодії датчиків, виконавчих механізмів та інтелектуальних систем прийняття рішень.

Ключовими елементами АСК є датчики, виконавчі механізми, контролери, системи передачі даних та програмне забезпечення. Датчики здійснюють збір інформації про стан об'єкта або середовища, у якому він функціонує, перетворюючи фізичні величини (температуру, тиск, вологість тощо) в електричні сигнали. Виконавчі механізми, в свою чергу, впливають на об'єкт, змінюючи його параметри або умови функціонування. Контролери є центральним елементом АСК: вони обробляють сигнали від датчиків, приймають рішення на основі алгоритмів, що зберігаються у їх пам'яті, та надсилають команди виконавчим механізмам для коригування роботи об'єкта.

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		26

Основні етапи побудови автоматизованої системи керування включають розробку концепції, визначення вимог, проектування, вибір апаратного та програмного забезпечення, встановлення та налагодження системи, а також її тестування і введення в експлуатацію. Початковий етап розробки полягає у визначенні вимог до системи, які залежать від цілей автоматизації та особливостей об'єкта керування. Наприклад, в системах автоматизації виробництва враховуються параметри продуктивності, безпеки, надійності та стійкості до збоїв. Після визначення вимог розробляється концептуальна схема АСК, яка описує всі основні компоненти, зв'язки між ними та принципи роботи системи.

Апаратне забезпечення є важливим аспектом побудови АСК і включає датчики, контролери, мікропроцесори, блоки живлення, засоби передачі даних і виконавчі механізми. Вибір конкретного апаратного забезпечення залежить від умов роботи системи: для жорстких промислових умов потрібні надійні, стійкі до зносу компоненти, тоді як у лабораторних умовах можна використовувати простіші й дешевші рішення. Контролери є одним з основних апаратних компонентів АСК, які можуть бути програмованими, одноразового налаштування або такими, що здатні адаптуватися до змін умов. Програмовані логічні контролери є гнучкими і дозволяють легко змінювати алгоритми роботи системи без необхідності змінювати апаратну частину.

Програмне забезпечення є важливим елементом АСК, оскільки воно визначає алгоритми управління, забезпечує зчитування і обробку сигналів від датчиків, здійснює прийняття рішень і відправляє команди на виконавчі механізми. Для складних систем часто використовують SCADA – системи [17], які забезпечують моніторинг і управління у реальному часі, а також HMI - інтерфейси, що дозволяють оператору взаємодіяти з системою. SCADA-системи складаються з програмно-апаратних засобів, що забезпечують збір, аналіз, збереження та відображення інформації про стан технологічних

процесів у реальному часі. SCADA дозволяє швидко отримати уявлення про стан об'єкта, а також оперативно реагувати на зміни. Приклад використання SCADA-системи разом з HMI зображений на рис. 2.1.



Рис. 2.1 SCADA-система(HMI) реалізована з використанням 3D-елементів

Для побудови алгоритмів управління АСК використовують різні математичні моделі та методи. Найпоширенішими є моделі, побудовані на основі диференціальних рівнянь, логічного програмування, теорії нечіткої логіки, а також методи машинного навчання для адаптивних систем. Класичні методи управління використовують пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори, які забезпечують плавне та точне регулювання параметрів системи. В адаптивних системах управління використовуються алгоритми, здатні змінювати налаштування параметрів залежно від умов роботи. Наприклад, системи машинного навчання аналізують історичні дані, прогнозують майбутні зміни та автоматично налаштовують параметри системи відповідно до поточних умов. Такий підхід є важливим для складних динамічних систем, де зміни відбуваються швидко і нерівномірно.

Системи зв'язку та передачі даних є невід'ємною частиною сучасних АСК, оскільки вони забезпечують обмін інформацією між окремими компонентами системи. У промислових АСК застосовуються різні типи мереж – від локальних (LAN) до глобальних мереж (WAN) та систем IoT, які забезпечують передачу даних у реальному часі між віддаленими об'єктами. Зокрема, IoT дозволяє об'єднати в єдину мережу датчики, контролери і виконавчі механізми, що сприяє підвищенню гнучкості, адаптивності і стійкості до збоїв. Використання протоколів зв'язку, таких як Modbus[18], Profibus[19], CAN[20] та OPC UA[21], забезпечує сумісність між обладнанням різних виробників і дозволяє здійснювати інтеграцію на основі єдиних стандартів.

Одним із сучасних трендів у побудові АСК є впровадження системи штучного інтелекту і машинного навчання для підвищення адаптивності і автоматизації управління. Застосування ШІ дозволяє створювати самонавчальні системи, які можуть аналізувати дані про роботу об'єкта та середовище, прогнозувати зміну умов і налаштовувати параметри управління для забезпечення оптимальної роботи. Наприклад, системи штучного інтелекту можуть використовуватися для оптимізації виробничих процесів, передбачення технічних збоїв, оптимізації витрат на енергоресурси та управління якістю продукції.

Побудова автоматизованих систем керування також передбачає врахування питань безпеки та стійкості до помилок. АСК повинні забезпечувати захист від несанкціонованого доступу, попередження збоїв та зниження ризиків аварій. Наприклад, у системах промислової автоматизації використовуються багаторівневі системи захисту, резервні канали зв'язку і дублювання ключових елементів, що дозволяє забезпечити безперервність роботи. Для забезпечення безпеки використовуються також алгоритми аналізу

та контролю доступу, а також системи для виявлення аномалій у роботі об'єкта.

Таким чином, основи побудови автоматизованих систем керування включають багатофункціональну архітектуру, що поєднує апаратні та програмні компоненти для забезпечення повного циклу управління – від збору даних до прийняття рішень і виконання. АСК дозволяють знизити людський фактор у процесах управління, підвищити точність, адаптивність та гнучкість систем, а також забезпечити високу якість і ефективність у різних галузях. Інтеграція новітніх технологій, таких як Інтернет речей, штучний інтелект і системи передачі даних у реальному часі, сприяє створенню інтелектуальних і адаптивних автоматизованих систем, що відповідають вимогам сучасного виробництва і технологій.

2.2 Параметри та вимоги до системи управління теплицею

Система управління теплицею має забезпечувати стабільні умови для вирощування рослин, автоматизуючи контроль кліматичних параметрів і процесів, що впливають на розвиток культур. Важливим аспектом управління є підтримка температури повітря, оскільки цей параметр впливає на всі стадії росту рослин. Система має здатність регулювати температуру в залежності від типу рослин, сезону та часу доби, щоб забезпечити стабільний діапазон, сприятливий для вирощування культур.

Вологість повітря є другим ключовим параметром, оскільки її надмірний рівень може сприяти розвитку хвороб рослин, а недостатня вологість – надмірному випаровуванню. Система управління теплицею повинна автоматично підтримувати оптимальні рівні вологості для кожної культури, контролюючи вентиляцію і зрошення.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
						30
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Контроль концентрації вуглекислого газу є також важливим, оскільки CO₂ впливає на процес фотосинтезу. У більшості випадків система повинна підтримувати стабільну концентрацію на рівні, який сприяє інтенсивному росту рослин. Система управління також повинна враховувати параметри освітлення, зокрема кількість і спектр світла, що необхідний для ефективного фотосинтезу. Залежно від природного освітлення, часу доби і потреб культур, система може забезпечувати додаткове штучне освітлення для досягнення оптимального фотоперіоду.

Крім параметрів повітря, система управління повинна регулювати температуру ґрунту або субстрату, оскільки цей показник впливає на ріст кореневої системи, особливо на початкових стадіях розвитку. Система контролює температурний режим ґрунту за допомогою датчиків і нагрівальних елементів, щоб забезпечити сприятливі умови для рослин. Вологість субстрату або ґрунту є ще одним важливим параметром, який система управління теплицею має контролювати. Постійний моніторинг рівня вологості дозволяє уникнути надмірного або недостатнього поливу, що може негативно вплинути на рослини. Особливо важливий контроль за рівнем поживних речовин у гідропонних системах або інших безґрунтових технологіях, де система управління повинна підтримувати стабільний склад поживного розчину з певним рівнем рН і концентрацією мінеральних елементів. Це забезпечує повноцінне живлення рослин, запобігаючи виникненню дефіциту поживних речовин.

Ефективна система управління теплицею також включає механізми вентиляції, що дозволяють забезпечити обмін повітря, уникнути надмірного перегріву або вологості, а також рівномірний розподіл CO₂. Це забезпечується автоматичним регулюванням систем вентиляції, яка реагує на зміни кліматичних умов. Додатково, система управління теплицею має підтримувати системи обігріву та охолодження, що є необхідним для

підтримки стабільного клімату у різні сезони. Обігрів може використовуватися у холодні періоди, тоді як система охолодження – у спекотні дні, коли температура може негативно вплинути на рослини. Важливим аспектом є також захист від шкідників і хвороб, для чого використовуються спеціалізовані системи моніторингу, що виявляють ознаки забруднення або наявності шкідників. Автоматичні системи розпилення можуть забезпечувати обробку рослин, якщо виявлені патогени, знижуючи ризики інфекцій.

До загальних вимог, які ставляться до систем управління теплицею, належить автоматизація процесів, що дозволяє мінімізувати людське втручання і підвищує точність підтримки параметрів. Система повинна бути надійною і забезпечувати точне вимірювання параметрів, гарантуючи стабільність кліматичних умов. Гнучкість і адаптивність дозволяють швидко налаштовувати систему для нових типів культур або змін кліматичних умов. Моніторинг у реальному часі є важливим аспектом, який дає можливість оперативного реагування на будь-які відхилення параметрів. Важливу роль відіграє зберігання і аналіз даних, що дозволяє здійснювати довгострокову оптимізацію умов, налаштовуючи параметри на основі історичних показників. Сучасні системи управління також часто мають можливість віддаленого доступу, що дозволяє операторам контролювати і керувати параметрами теплиці з будь-якого місця через інтернет-з'єднання.

Інтегровані системи управління, що включають різні модулі, такі як системи освітлення, обігріву, вентиляції та контролю поживних речовин, забезпечують комплексний підхід до підтримки стабільності умов. Модульність також дозволяє додавати нові компоненти, такі як додаткові датчики або дозатори добрив, залежно від потреб. Важливою вимогою до систем управління теплицями є енергоефективність, оскільки значні обсяги електроенергії використовуються для освітлення, обігріву та інших процесів.

Система повинна мати здатність оптимізувати енергоспоживання, забезпечуючи ефективне використання ресурсів. Стійкість до збоїв і наявність механізмів резервування дозволяють зберігати основні функції і дані у разі відключення електропостачання або інших несправностей. Таким чином, система управління теплицею повинна бути комплексною, інтегрованою та інтелектуальною, що дозволяє підвищити продуктивність і якість врожаю при мінімальних витратах.

2.3 Програмно-апаратна архітектура інтегрованої системи управління теплицею

Програмно-апаратна архітектура інтегрованої системи управління теплицею включає в себе взаємодію різних апаратних і програмних компонентів, які забезпечують контроль, моніторинг та автоматизацію кліматичних умов і технологічних процесів у теплиці. Ефективність такої системи залежить від узгодженої роботи всіх підсистем, які повинні функціонувати як єдиний інтегрований комплекс. Програмно-апаратна архітектура охоплює датчики, контролери, виконавчі механізми, системи комунікації та центральний обчислювальний модуль з програмним забезпеченням для збору і обробки даних, а також для прийняття рішень.

Основою апаратної частини інтегрованої системи є мережа датчиків, що забезпечують моніторинг параметрів середовища в теплиці. До основних параметрів належать температура, вологість, рівень освітленості, концентрація вуглекислого газу, вологість і температура ґрунту, а також рівень поживних речовин для гідропонних систем. Кожен з цих параметрів контролюється відповідними датчиками, які забезпечують точні вимірювання в режимі реального часу. Сучасні датчики можуть бути обладнані модулями для бездротової передачі даних, що спрощує їх інтеграцію в загальну систему

без необхідності прокладання кабелів. Також у тепличній архітектурі часто застосовують спеціальні датчики для моніторингу рівня шкідників, що можуть виявляти біологічні загрози і передавати відповідні дані у систему. Кожен датчик зазвичай підключається до локального контролера, що агрегує дані з кількох датчиків і передає їх на центральний обчислювальний модуль для обробки.

Контролери є ключовими елементами в архітектурі управління, оскільки саме вони забезпечують зв'язок між датчиками і виконавчими механізмами. У випадку виявлення відхилень параметрів від встановлених меж, контролери приймають рішення про запуск виконавчих механізмів, таких як системи обігріву, вентиляції, освітлення або зрошення. Контролери можуть бути оснащені алгоритмами автоматичного регулювання, що дозволяє їм здійснювати базову обробку даних від датчиків та приймати рішення на місцевому рівні, без необхідності звертатися до центрального процесора. Така архітектура дозволяє швидше реагувати на зміни умов у теплиці і мінімізує затримки у роботі. Крім цього, сучасні контролери часто підтримують віддалений доступ і можуть бути інтегровані у системи хмарного зберігання даних, що дозволяє здійснювати моніторинг і управління з будь-якої точки світу.

Виконавчі механізми в архітектурі інтегрованої системи є пристроями, які виконують дії, що змінюють кліматичні або інші параметри в теплиці відповідно до команд, що надходять від контролерів. До таких механізмів належать вентиляційні системи, нагрівальні елементи, системи обігріву і охолодження, установки для дозування CO₂, системи штучного освітлення, зрошувальні системи, а також пристрої для внесення поживних речовин або засобів захисту рослин. Виконавчі механізми забезпечують можливість оперативного реагування на зміну умов у теплиці, автоматично коригуючи параметри середовища відповідно до вказівок, що надходять від контролерів.

Завдяки автоматизованому управлінню такі механізми працюють автономно, забезпечуючи стабільність мікроклімату і знижуючи потребу у втручанні персоналу.

Центральний обчислювальний модуль є серцем програмно-апаратної архітектури, забезпечуючи збір, обробку та аналіз даних від датчиків, а також контроль над діями виконавчих механізмів. Центральний модуль може бути реалізований на основі серверів або потужних персональних комп'ютерів, що мають високу обчислювальну здатність і надійне зберігання даних. Його основним завданням є аналіз зібраних даних і прийняття рішень на основі заздалегідь налаштованих алгоритмів. Використовуючи машинне навчання і прогнознi моделі, центральний модуль може обчислювати і прогнозувати можливі зміни в умовах теплиці, що дозволяє заздалегідь регулювати параметри для запобігання стресовим умовам для рослин. Він також може інтегрувати дані з кількох теплиць або віддалених тепличних господарств, що спрощує управління великими агрокомплексами.

Програмне забезпечення, встановлене на центральному модулі, виконує функції збору, зберігання і аналізу даних, а також надає користувачеві доступ до налаштувань і моніторингу системи в режимі реального часу. Зазвичай, це комплексні програмні пакети, що містять різноманітні інтерфейси для збору даних, алгоритми для обробки інформації, засоби для візуалізації даних і відображення стану теплиці. Візуалізація даних дає можливість оператору отримувати повну картину про стан умов у теплиці, а також швидко реагувати на будь-які зміни або несправності в роботі системи. Крім того, сучасні системи підтримують можливість віддаленого доступу, що дозволяє керувати теплицею з використанням мобільного додатку або веб-інтерфейсу.

Архітектура комунікаційної мережі є ще одним важливим елементом програмно-апаратної структури інтегрованої системи управління теплицею.

Сучасні теплиці оснащені комунікаційними інтерфейсами для передачі даних між датчиками, контролерами і центральним модулем. Це можуть бути як дротові мережі, так і бездротові технології на основі Wi-Fi, ZigBee[23] або інших стандартів зв'язку. Використання бездротових комунікацій є зручним рішенням для великих тепличних комплексів, оскільки дозволяє уникнути прокладання кабелів і забезпечує гнучкість у розміщенні датчиків та контролерів. Відкриті комунікаційні протоколи, такі як Modbus[18] або OPC UA[21], часто використовуються для забезпечення інтеграції між компонентами від різних виробників, що спрощує розширення системи і інтеграцію нових елементів у майбутньому.

Завдяки інтеграції всіх апаратних та програмних компонентів у єдину архітектуру, система управління теплицею може функціонувати автономно, забезпечуючи автоматизацію процесів, моніторинг і підтримку стабільних умов. Інтегрована програмно-апаратна архітектура теплиць сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат на енергоресурси і мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		36

3 АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ У ТЕПЛИЦІ

3.1 Датчик температури повітря.

Датчики температури для теплиць є важливими елементами, які використовують для моніторингу та контролю температурного режиму всередині теплиці. Вони зазвичай підключені до центральної системи керування або мікроконтролера, який збирає дані, надаючи можливість операторам стежити за температурою в режимі реального часу. Використовуючи дані з датчиків, система керування може вмикати або регулювати системи обігріву або охолодження, відкривати вентиляційні отвори або керувати навісами для підтримки необхідного діапазону температур.

Також датчики температури можна інтегрувати з системами запису даних, що фіксують температуру впродовж тривалого періоду. Зібрані дані дозволяють аналізувати зміни температури, оптимізувати тепличні процеси та приймати обґрунтовані рішення щодо майбутніх циклів вирощування. Однак для забезпечення точності та надійності датчики потребують регулярного калібрування та технічного обслуговування. Це включає порівняння показань датчика з еталонним термометром і, за потреби, внесення коригувань, а також періодичне очищення датчиків для запобігання накопиченню пилу або сміття, що може вплинути на їхню роботу.

У теплицях застосовують різні типи датчиків температури, зокрема: терморезистори, резистивні температурні детектори (RTD), терморезистори та цифрові датчики температури.

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		37

Термопари — це датчики, виготовлені з двох різних металів, з'єднаних разом, які виробляють напругу, пропорційну різниці температур між кінцями цих металів. Вони є довговічними, недорогими і підходять для широкого діапазону температур (від $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Існують різні типи термопар, які відрізняються матеріалами, діапазоном вимірювання та маркуються літерами, наприклад, термопари типу Е або J. Приклад термопари зображений на Рис. 3.1.



Рис. 3.1 Термопара К-типу, виготовлена з хромелю та алюмелю

Резистивні температурні детектори (RTD) працюють за принципом, при якому електричний опір певних металів змінюється залежно від температури. Вони забезпечують вищу точність і стабільність вимірювань у порівнянні з термопарами, проте мають вищу вартість. Діапазон вимірювання температур у них менший, ніж у термопар, і зазвичай становить від $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Приклад такого датчика наведений на Рис. 3.2.



Рис.3.2 Приклад резистивного температурного датчика

Терморезистори — це температурно-чутливі напівпровідникові резистори, опір яких значно змінюється зі зміною температури. Існує два типи терморезисторів: термістори (Рис. 3.3), які мають негативний температурний коефіцієнт (NTC), та позистори з позитивним температурним коефіцієнтом (PTC). Вони є економічно вигідними й забезпечують високу точність вимірювання, однак їхній діапазон температур обмежений, зазвичай від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 3.3 Термістор з негативним температурним коефіцієнтом

Цифрові датчики температури, такі як ті, що працюють на протоколах зв'язку I²C (Inter-Integrated Circuit) або OneWire, забезпечують точні показники температури та часто мають вбудовані функції калібрування. Вони легко інтегруються з мікроконтролерами та цифровими системами, що робить їх зручними для використання в автоматизованих системах теплиць. Приклад цифрового датчика наведений на Рис. 3.4.



Рис. 3.4 Приклад цифрового датчика температури, який працює на протоколі OneWire

Для використання датчика ТМР36 досить підключити його лівий конектор до джерела живлення, а правий — до заземлення. Аналогове значення напруги, яке пропорційне температурі, знімається з середнього конектора. Напруга на цьому виході змінюється залежно від температури й джерела живлення. Підключення конекторів показано на Рис. 3.5.

3.2 Датчик вологості ґрунту.

Датчики вологості, також відомі як датчики вологості ґрунту, є пристроями, призначеними для вимірювання вмісту вологи в ґрунті або інших субстратах. Вони широко використовуються у сільському господарстві, садівництві та моніторингу навколишнього середовища. Завдяки цим пристроям можна отримати важливу інформацію про рівень вологості ґрунту, що є критичною умовою для ефективного зрошення, підтримання здоров'я рослин та економного використання води. Існує декілька типів датчиків вологості, які використовують різні принципи вимірювання вологості ґрунту, включаючи датчики електричного опору, ємнісні датчики, а також датчики рефлектометрії, зокрема, частотної та часової рефлектометрії.

Датчики електричного опору вимірюють опір ґрунту, який змінюється залежно від вмісту вологи в ньому. Чим вологіший ґрунт, тим вища його провідність, що спричиняє зменшення електричного опору. Цей тип датчиків простий у конструкції, доступний за ціною та зручний у використанні, проте їхні показники можуть бути менш точними через залежність від складу ґрунту. На відміну від датчиків опору, ємнісні датчики визначають вологість ґрунту через вимірювання його діелектричної проникності, яка змінюється зі зміною вологості. Ці датчики зазвичай забезпечують більш точні результати, менше залежать від типу ґрунту чи рівня його солоності та можуть бути датчиками в частотній або часовій області. Датчики рефлектометрії в часовій області (Time

Domain Reflectometry, TDR) працюють за принципом надсилання електромагнітного імпульсу через ґрунт і вимірювання часу, необхідного для його відбиття. Час повернення сигналу залежить від вмісту вологи в ґрунті, що дозволяє точно визначити рівень вологості. Такі датчики вирізняються високою точністю і надійністю навіть у складних ґрунтових умовах. Датчики частотної рефлектометрії функціонують аналогічно TDR-датчикам, однак визначають вологість через аналіз частотної характеристики ґрунту, передаючи діапазон частот і вимірюючи амплітуду і фазовий зсув відбитого сигналу. Завдяки високій точності та стабільності показників протягом тривалого часу, ці датчики є одним із надійних рішень для вимірювання вологості ґрунту.

Зазначені типи датчиків можуть бути підключені до мікроконтролерів або інших систем моніторингу для збору та обробки даних про вологість. Зібрані показники використовуються для автоматизації поливу, надсилання сповіщень або прийняття обґрунтованих рішень щодо графіків зрошення. Для автоматизації процесів у теплицях оптимальним варіантом є датчик електричного опору, оскільки він доступний за ціною та ефективно виконує свою функцію вимірювання вологості. Особливо зручним є використання датчика вологості ґрунту від компанії Funduino, розробленого спеціально для платформ на базі Arduino, зображеного на Рис. 3.6. Цей датчик добре підходить для невеликих автоматизованих теплиць та забезпечує ефективний моніторинг і контроль рівня вологості ґрунту.

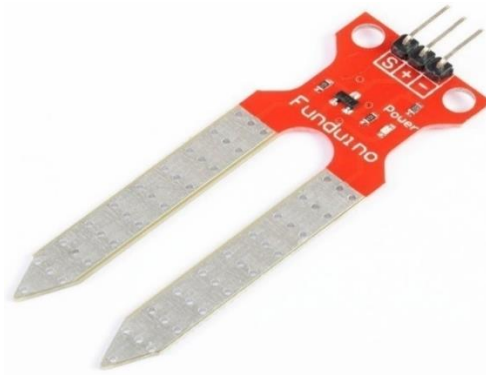


Рис. 3.6 Датчик вологості ґрунту Funduino Soil Moisture Sensor

Soil Moisture Sensor — це простий, але ефективний датчик, який дозволяє вимірювати вологість ґрунту або інших сипких матеріалів. Він знайшов широке застосування в міні-теплицях, системах автоматичного поливу та інших аграрних технологіях. Одна з основних переваг цього датчика — його антикорозійне покриття, яке забезпечує більшу довговічність і надійність при використанні в умовах, де можливі контакти з вологим середовищем. Робоча напруга датчика становить від 3 до 5 В, що робить його зручним для підключення до різних мікроконтролерів, таких як Arduino, AVR, STM тощо.

Датчик має два виходи: один аналоговий і один дискретний. Аналоговий вихід видає значення, яке прямо пропорційне рівню вологості на контактному майданчику. Це дозволяє здійснювати безперервний моніторинг вологості та аналізувати дані. Дискретний вихід активується при досягненні заданого рівня вологості, що можна налаштувати за допомогою потенціометра. Це забезпечує зручність у налаштуванні порогових значень вологості, наприклад, для автоматизації запуску системи поливу. Завдяки цим можливостям датчик легко інтегрується з різними мікроконтролерними платформами, дозволяючи реалізувати різноманітні проекти автоматизації для сільського господарства та садівництва.

3.3 Датчик світла.

Датчики світла є важливими компонентами для ефективного моніторингу освітлення в теплицях, що дозволяє оптимізувати умови для росту рослин. Ці датчики вимірюють інтенсивність і якість світла, що потрапляє в теплицю, і надають необхідні дані для коригування освітлювальних систем, що сприяє кращому фотосинтезу та здоровому розвитку рослин. Датчики світла можуть бути представлені різними технологіями, такими як фотодіоди, фототранзистори, фоторезистори та спектральні датчики.

Фотодіоди є одними з найбільш поширених типів датчиків світла. Це напівпровідникові пристрої, що генерують струм або напругу, пропорційну інтенсивності падаючого на них світла. Вони характеризуються високою чутливістю та швидким відгуком на зміни освітленості. Фотодіоди здатні працювати в різних спектральних діапазонах, що робить їх універсальними для вимірювання інтенсивності світла в теплицях. Вони є економічно ефективними та простими у використанні, що робить їх популярним вибором для вимірювання освітленості в тепличних системах.

Фотодіоди можуть бути застосовані для автоматизації освітлення теплиць, де вони можуть подавати сигнали для увімкнення або вимкнення світильників залежно від рівня природного освітлення. Приклад фотодіода зображений на Рис. 3.7.

Різниця між фотодіодом і фототранзистором

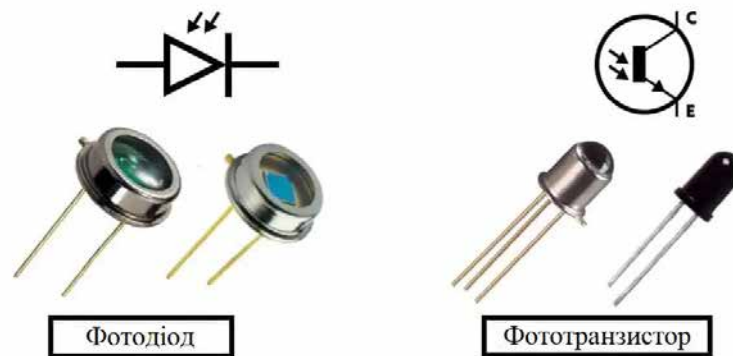


Рис. 3.7 Порівняння фототранзистора та фотодіода

Подібно до фотодіодів, фототранзистори(Рис. 3.7) також генерують струм або напругу у відповідь на світло, однак вони мають деякі переваги. Основною їх особливістю є висока чутливість та здатність до посилення сигналу. Це робить їх особливо корисними для вимірювання освітленості в умовах низького рівня світла. Завдяки своїй здатності посилювати сигнал, фототранзистори можуть бути використані в системах, де потрібно детектувати навіть незначні зміни освітленості, що є важливим для контролю освітлення в теплицях при слабкому природному світлі. Це забезпечує точнішу автоматизацію управління світлом.

Фоторезистори, або LDR(Light Dependent Resistors), є ще одним популярним типом датчиків світла. Вони змінюють своє електричне опір під дією світла: при збільшенні інтенсивності світла їх опір зменшується. Ці датчики широко використовуються для вимірювання рівня зовнішнього освітлення через свою низьку вартість, простоту використання та довговічність. Фоторезистори добре підходять для застосування в датчиках освітлення на вулиці або в автоматичних системах освітлення, де потрібно контролювати рівень природного світла та відповідно коригувати інтенсивність штучного освітлення в теплицях. Популярна модель фоторезистору зображена на Рис. 3.8.

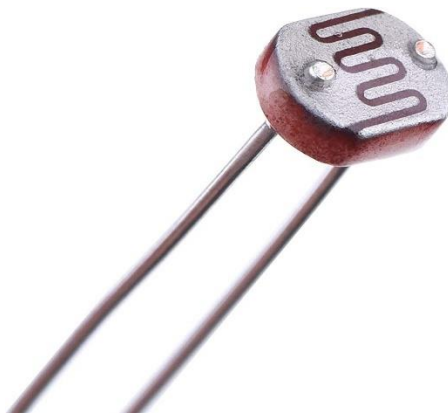


Рис. 3.8 Фоторезистор GL5528

Спектральні датчики спеціалізуються на вимірюванні інтенсивності світла в конкретних діапазонах довжин хвиль, таких як червоне, синє, жовте або інфрачервоне світло. Вони надають більш детальну інформацію про спектральний склад світла, що дозволяє точніше налаштувати умови для росту рослин, оскільки різні спектри світла мають різний вплив на фотосинтез і розвиток рослин. Наприклад, червоне світло стимулює цвітіння, а синє — вегетативний ріст. Враховуючи це, спектральні датчики є важливими для агрономів і садівників, які прагнуть оптимізувати освітлення в теплицях або оранжереях для досягнення найкращих результатів у вирощуванні рослин.

Одним із прикладів спектрального датчика є SparkFun Spectral Sensor AS7263 NIR(Рис. 3.9). Цей датчик здатний вимірювати інтенсивність світла в інфрачервоному діапазоні, що дозволяє отримувати додаткові дані для визначення загальної якості освітлення в теплицях. Такі дані допомагають створювати точнішу систему управління освітленням, що відповідає потребам рослин у різних етапах їхнього росту.

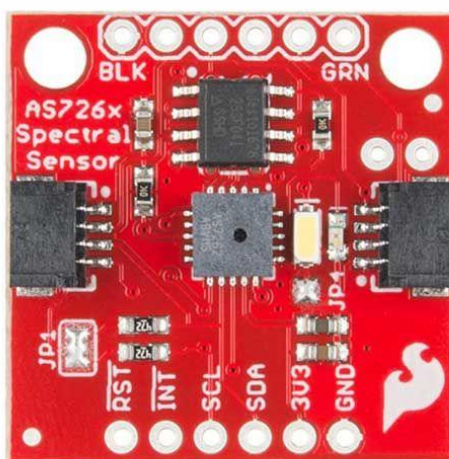


Рис. 3.9 Спектральний датчик SparkFun AS7263

Фоторезистори є дуже корисними для теплиць завдяки своїй простоті та ефективності в вимірюванні рівня освітленості. Вони змінюють свій опір в залежності від кількості світла, що на них потрапляє, що дозволяє створювати точні системи контролю освітлення для оптимальних умов росту рослин. Використання фоторезистора, як датчика світла в теплицях, є простим та ефективним методом для автоматизації освітлення, що забезпечує економію енергії і сприяє здоровому розвитку рослин.

Фоторезистор, наприклад, VT83N1 має діапазон опору від 12 кОм до 100 кОм, що робить його підходящим для використання в умовах теплиць, де рівень освітленості змінюється протягом дня. Інший приклад — фоторезистор VT93N2, з діапазоном опору від 48 кОм до 500 кОм, що дозволяє отримати більше варіативних даних про інтенсивність освітлення.

Підключення фоторезистора до мікроконтролера, такого як Arduino, дозволяє зчитувати ці зміни опору і перетворювати їх в значення, які можна використовувати для автоматичного включення або вимикання освітлення в теплиці. Це дає змогу створити систему, яка буде реагувати на зміни природного освітлення і включати штучне освітлення лише тоді, коли це

необхідно для рослин. На Рис. 3.10. зображено підключення фоторезистора до МК.

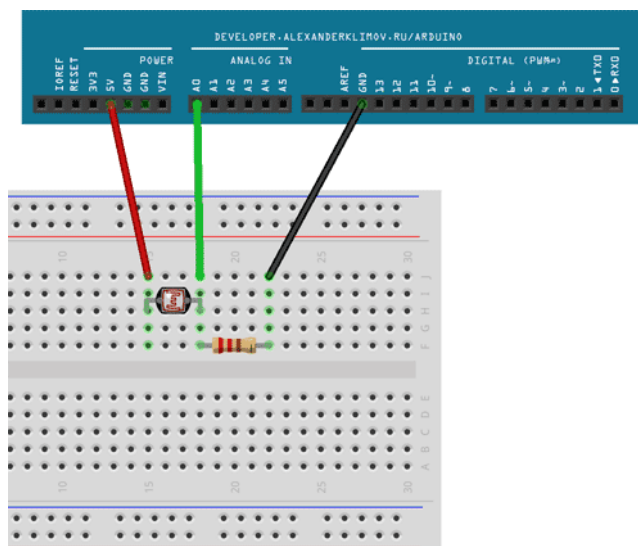


Рис. 3.10 Підключення фоторезистора через звичайний резистор до МК

В зображеній на Рис. 3.10 схемі підключення використовується фоторезистор у якості частини дільника напруги. Класичний дільник напруги дозволяє перетворювати змінний опір фоторезистора, залежний від рівня освітленості, на змінну напругу, яку зможе зчитувати через аналоговий вхід мікроконтролера (наприклад, порт A0 на Arduino).

У схемі перша ніжка фоторезистора підключена до 5 В для подачі живлення, а друга ніжка з'єднана з резистором, що у свою чергу підключається до заземлення. Напруга на точці між фоторезистором і резистором змінюється пропорційно освітленості, і цю напругу можна виміряти за допомогою порту A0. Мікроконтролер зчитує ці значення та може регулювати систему освітлення відповідно до реальних умов, забезпечуючи оптимальні параметри для росту рослин.

Завдяки такій схемі, фоторезистор стає дуже корисним інструментом для автоматизації систем освітлення в теплицях. Це дозволяє не тільки підтримувати потрібний рівень освітленості, але й економити енергію,

оскільки освітлення включається лише за необхідності. Також, таке автоматичне регулювання допомагає забезпечити здоровий ріст рослин, що в свою чергу сприяє збільшенню врожайності та покращенню якості продукції.

3.4 Спринклер.

Підвісні спринклери є одними з найбільш поширених типів зрошувальних систем у теплицях, завдяки їх простоті, ефективності та здатності покривати великі площі. Вони встановлюються вище рівня рослин і розподіляють воду рівномірно по всій площі. Система може бути стаціонарною або рухомою, що дозволяє охопити всю територію теплиці без необхідності переміщення великої кількості обладнання. Підвісні спринклери можуть подавати воду в різних режимах — круговому або півкруговому, в залежності від конструкції і потреб поливу.

Вони ефективно справляються із завданням підтримки рівномірного розподілу води, що є важливим для забезпечення оптимальних умов вологості ґрунту для всіх рослин на протязі всього періоду їхнього росту. Підвісні спринклери можуть бути частиною більш складної автоматизованої системи поливу, що регулюється через датчики вологості ґрунту, дозволяючи поливати тільки тоді, коли це необхідно, що допомагає заощаджувати воду та енергію.

На зображенні (Рис. 3.11) видно, як підвісні спринклери можуть бути об'єднані в єдину систему зрошення, що охоплює всю площу теплиці. Таке рішення дозволяє покривати великі території з мінімальними витратами часу та зусиль для налаштування та обслуговування системи.



Рис. 3.11 Приклад використання підвісних спринклерів в теплиці

Мікророзбризкувачі є ефективним рішенням для точного та локалізованого зрошення в теплицях. Завдяки своїм компактним розмірам вони ідеально підходять для невеликих тепличних проектів або для тих випадків, коли потрібно зрошувати окремі рослини чи невеликі ділянки. Вони можуть бути розміщені близько до рослин і забезпечують рівномірне розпилення води, що дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості навколо кореневої системи.

Мікророзбризкувачі працюють на основі малих сопел, через які вода подається у вигляді м'яких дрібних бризок. Це дозволяє значно зменшити витрати води порівняно з традиційними системами поливу, такими як підвісні спринклери, зберігаючи при цьому достатній рівень зрошення для кожної окремої рослини. Така система поливу також забезпечує хороший контроль над кількістю води, що подається, що є важливим для запобігання застою води в ґрунті і для збереження здоров'я рослин.

Мікророзбризкувачі ідеально підходять для теплиць з невеликими розмірами або для спеціальних ділянок, де потрібно забезпечити точний контроль за вологістю, наприклад, для вирощування особливих видів рослин, що потребують специфічних умов поливу. На Рис. 3.12 зображено приклад

застосування мікророзбризкувачів у тепличній зрошувальній системі, де кожен мікророзбризкувач подає воду до окремої рослини або ділянки.



Рис. 3.12 Використання мікророзбризкувачів в теплиці

Системи туману є одним з найбільш ефективних рішень для підтримки оптимальних умов мікроклімату в теплицях, особливо в регіонах з високими температурами або низькою вологістю. Вони працюють за принципом розпилення води під високим тиском через спеціальні форсунки, що створюють мікроскопічні краплі, які формують туман. Цей туман розповсюджується по теплиці, забезпечуючи рівномірний розподіл вологи та допомагаючи регулювати температуру.

Системи туману ідеально підходять для теплиць, де необхідно підвищити рівень вологості або забезпечити охолодження в спекотні дні. Крім того, вони є надзвичайно ефективними для запобігання перегріву рослин та збереження оптимальних умов для їхнього росту, особливо в жарких або посушливих кліматах.

Проте варто зазначити, що системи туману є досить дорогими, як у порівнянні з іншими типами спринклерних систем, так і через необхідність у високоякісному обладнанні, що може включати насосні станції високого тиску

та спеціалізовані форсунки. Тому їх зазвичай використовують у великих теплицях, де висока вартість виправдовується великим масштабом та підвищеними вимогами до умов середовища.

На Рис. 3.13 зображено теплицю, в якій використовується система туману для рівномірного розподілу вологи та охолодження рослин, що дозволяє створити ідеальні умови для вирощування в складних кліматичних умовах.



Рис. 3.13 Використання системи туману в умовах посушливого клімату

Мікророзпилювач Presto-PS MS8060 є чудовим вибором для невеликого проекту теплиці, оскільки він поєднує в собі високу ефективність, доступність та практичність. Цей спринклер має середній радіус зрошення і створює дрібні краплі, що подібні до природного дощу. Це важлива характеристика для теплиць, оскільки такий тип розпилення води дозволяє рівномірно зрошувати ґрунт без ризику його перезволоження або утворення калюж.

Завдяки своїй здатності утворювати дрібну фракцію крапель, мікророзпилювач MS8060 практично не піддається впливу вітру, що робить його ідеальним для використання в умовах, де постійно змінюються погодні умови або в теплицях з обмеженим простором. Це дозволяє зменшити втрати

води і забезпечити оптимальне зрошення, навіть при низькому рівні вітру, що є важливим фактором для ефективного поливу в теплицях та інших сільськогосподарських об'єктах.

Цей тип спринклера також добре підходить для застосування в малих теплицях, парниках, садках та на відкритих ділянках, таких як квітники або городи, завдяки своїм універсальним характеристикам. Завдяки збалансованому радіусу та ефективності розподілу води він дозволяє значно зменшити витрати води та забезпечити комфортні умови для рослин на різних етапах їхнього розвитку.

Мікророзпилювач Presto-PS MS8060 є оптимальним рішенням для створення ефективної системи автоматизованого поливу для невеликих теплиць, оскільки він легко інтегрується з системами на базі МК, забезпечуючи належне зрошення без необхідності в складному або дорогому обладнанні.

Presto-PS MS8060, завдяки своєму радіусу поливу в 4,5 метра, забезпечує ефективне зрошення в теплицях, розташованих навіть в обмеженому просторі. При цьому він може бути встановлений у підвішеному положенні, що дозволяє рівномірно розподіляти воду над рослинами, забезпечуючи оптимальні умови для їхнього росту. В такому випадку спринклер розміщується на певній висоті, що дозволяє воді рівномірно розподілятися на великій площі.

Якщо ж необхідно розташувати спринклери на стійці(Рис. 3.14), то для цього також є можливість. Подібний варіант може бути корисним у випадках, коли потрібно зрошувати окремі ділянки або організувати полив певних зон теплиці.



Рис. 3.14 Використання спринклера Presto-PS MS8060

Оскільки радіус поливу одного мікророзпилювача становить 4,5 метра, спринклери розміщуються на відстані 6,2 метра один від одного. Це дозволяє забезпечити рівномірне зрошення у теплицях шириною до 6 метрів, де вони можуть бути встановлені в один ряд. Така схема установки є економічно ефективною, оскільки дозволяє мінімізувати кількість спринклерів, одночасно забезпечуючи ефективне зрошення всієї теплиці.

3.5 Вентиляційна система.

Система вентиляції в теплиці є важливим елементом для створення оптимальних умов для росту рослин. Вона дозволяє регулювати не лише температуру і вологість, але й циркуляцію повітря, що сприяє покращенню фотосинтезу та збереженню здоров'я рослин. Ключовим завданням вентиляції є забезпечення регулярного обміну повітря — заміни теплого, затхлого повітря на свіже.

У теплицях використовуються два основних типи вентиляції: природна та механічна. Природна вентиляція працює за принципом природного підйому гарячого повітря, яке витісняється холодним. Для цього використовуються вентиляційні отвори на даху та стінах, що відкриваються або закриваються

залежно від внутрішньої температури. Така система є енергоефективною, але її ефективність залежить від зовнішніх погодних умов.

Механічна вентиляція використовує вентилятори для активного переміщення повітря в теплиці, що дає змогу точно контролювати температурні параметри. Це особливо важливо для великих теплиць, де природна вентиляція не завжди є достатньою. Вентилятори можуть працювати незалежно або в поєднанні з природною вентиляцією для досягнення оптимального повітрообміну.

Для автоматизації системи вентиляції в теплицях широко використовуються сервоприводи. Вони дозволяють відкривати вікна або вентиляційні отвори для провітрювання в залежності від заданих умов. Одним із таких сервоприводів є Tower Pro MG996R-180 (Рис. 3.15), який відомий своєю надійністю та простотою в управлінні. Цей сервопривід має вбудований модуль керування, який забезпечує точне позиціонування валу за допомогою датчика положення, що дозволяє автоматично регулювати положення вентиляційних отворів, забезпечуючи таким чином оптимальні умови для рослин.

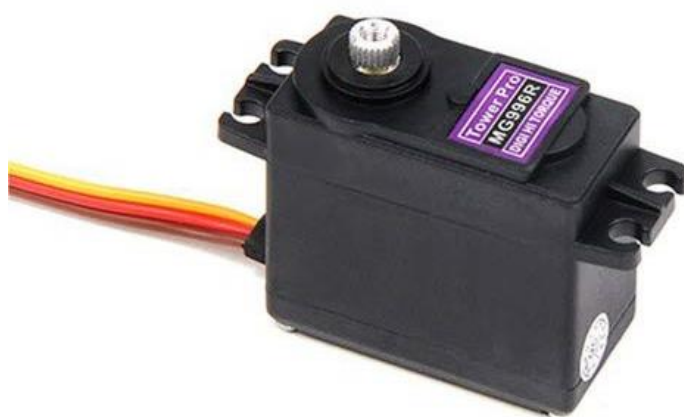


Рис. 3.15 Сервопривід Tower Pro MG996R-180

Сервопривід Tower Pro MG996R-180 може бути ефективно використаний з МК Arduino завдяки простій інтеграції з бібліотекою «Servo», яка є стандартною бібліотекою для керування сервоприводами в середовищі Arduino.

Для керування сервоприводом за допомогою Arduino, необхідно підключити його до одного з цифрових пінів мікроконтролера і використати відповідні функції бібліотеки «Servo» для управління положенням вала сервоприводу. Бібліотека дозволяє задавати кути обертання валу сервоприводу в діапазоні від 0° до 180°, що дає змогу точно контролювати відкрите або закрите положення вентиляційного отвору чи вікна.

Вентилятор Vitals EH-23, зображений на Рис. 3.16 є хорошим вибором для невеликої автоматизованої теплиці, оскільки він забезпечує надійну циркуляцію повітря та допомагає підтримувати оптимальні температурні умови для росту рослин. Цей вентилятор має високу ефективність, що дозволяє ефективно охолоджувати повітря та забезпечувати постійний обмін повітря в теплиці, запобігаючи перегріву і покращуючи рівень вологості.



Рис. 3.16 Тепловентилятор Vitals EH-23

Використання вентилятора в поєднанні з сервоприводами для автоматичного відкриття вікон дозволяє створити комплексну систему вентиляції, яка буде підтримувати постійну оптимальну температуру і вологість у теплиці, що є важливим для здоров'я рослин.

Зазначений вентилятор може бути інтегрований в систему управління з мікроконтролером Arduino або іншою автоматизованою системою для контролю часу включення і вимкнення вентилятора, залежно від показників температури та вологості в теплиці. Це дозволяє автоматизувати процеси вентиляції, зменшуючи потребу в постійному ручному контролі.

Вентилятор Vitals EH-23 може бути оснащений датчиками температури та вологості для забезпечення автоматичного включення вентилятора, коли температура перевищує задане значення, або коли рівень вологості виявляється надмірно високим.

Як і сервоприводи, вентилятор можна підключити до Arduino для управління його роботою. Для цього можна використовувати реле або транзистор для включення або вимкнення вентилятора залежно від сигналів, отриманих від датчиків температури або вологості.

3.6 Система зашторювання та освітлення теплиці.

Система зашторювання та освітлення є важливим елементом в управлінні умовами освітлення в теплиці. Зашторювання зазвичай здійснюється за допомогою рулонних штор або завіс, що встановлюються над рослинами, виготовлених із спеціальних матеріалів, які фільтрують частину сонячного світла. Це дозволяє зменшити його інтенсивність, запобігаючи перегріву та надмірному освітленню рослин, що є важливим для деяких культур, особливо в періоди підвищеної сонячної активності.

Для забезпечення необхідного рівня освітлення в умовах обмеженого природного світла використовується система досвічування, яка включає джерела штучного освітлення, такі як світлодіоди або спеціальні лампи, що дозволяють підтримувати оптимальний рівень освітленості для фотосинтезу рослин у періоди з низьким рівнем природного світла, наприклад, взимку або в похмурі дні.

Управління цією системою може бути як автоматизованим, так і ручним. В автоматизованому режимі система регулюється за допомогою датчиків, які вимірюють рівень освітленості та температуру в теплиці. Відповідно до отриманих даних система автоматично налаштовує роботу штор та освітлювальних приладів, забезпечуючи підтримку необхідних умов для рослин. У ручному режимі оператор самостійно здійснює контроль за процесами зашторювання і досвічування, залежно від поточних умов та потреб рослин.

Автоматизація системи зашторювання та досвічування може здійснюватися за допомогою мікроконтролерів, таких як Arduino або Raspberry Pi, що дозволяють зібрати дані з датчиків освітленості, температури та вологості, а також керувати сервоприводами або реле для регулювання роботи штор та освітлення. Таким чином, система створює комфортні умови для рослин, що сприяють їхньому здоровому розвитку та підвищенню врожайності.

У цьому проекті система зашторювання та досвічування включає кілька світлодіодних ламп для забезпечення додаткового освітлення в теплиці та мотор-редуктор для автоматичного відкриття або закриття штор. Мотор-редуктор CNCROM JGY-370-12V-24R, зображений на Рис. 3.17, є економічним і ефективним вибором для реалізації цієї функції, оскільки він здатний забезпечити потрібну потужність для механічного руху штор. Завдяки своїй доступній вартості та компактним розмірам, цей мотор-редуктор може

бути використаний для простих автоматизованих рішень у системах зашторювання в теплицях, де важлива функціональність за поміркованою ціною.



Рис. 3.17 Мотор-редуктор CNCROM JGY-370-12V-24R

3.7 Система опалення теплиці.

Система опалення в теплицях має критичне значення для підтримки оптимальної температури та створення сприятливих умов для росту рослин, особливо в холодні періоди або в регіонах з низькими температурами. Вона захищає рослини від морозів, покращує їх розвиток і сприяє врожайності. Серед найбільш поширених типів опалювальних систем у теплицях можна виділити систему центрального опалення, променисте опалення, повітряне опалення, геотермальне опалення та опалення на біомасі.

Система центрального опалення працює на основі центрального джерела тепла, наприклад, котлів або печей, які генерують гарячу воду, пар або тепле повітря, що потім розподіляється по теплиці за допомогою труб або каналів. Вона може включати радіатори або тепловентилятори для рівномірного обігріву. Променисте опалення забезпечує випромінювання тепла безпосередньо до рослин через нагрівальні елементи, встановлені в

стінах або стелі теплиці. Таке опалення є ефективним та рівномірно розподіляє тепло по теплиці.

При використанні повітряного опалення тепле повітря вдувається в теплицю через вентилятори і розподіляється через мережу труб. Це дозволяє швидко нагрівати приміщення, але таке опалення може бути менш енергоефективним порівняно з іншими методами. Геотермальні системи використовують тепло землі, що забезпечує екологічно чистий і енергоефективний спосіб обігріву, хоча вони потребують значних витрат на встановлення. Опалення на біомасі, яке використовує органічні відходи для спалювання, є ще одним економічно вигідним варіантом, що дозволяє використовувати відновлювані джерела енергії.

При виборі системи опалення для теплиці необхідно враховувати розмір теплиці, бажану температуру, енергоефективність, вартість та вплив на навколишнє середовище. Інтеграція термостата або системи клімат-контролю дозволяє точно налаштувати температуру, що сприяє оптимальним умовам для рослин. Важливо також враховувати ізоляцію теплиці, вентиляцію і розподіл тепла для досягнення ефективності.

Для невеликої теплиці ефективним і економічним рішенням є використання тепловентилятора, здатного підтримувати мікроклімат у холодні періоди року. Тепловентилятор Vitals EH-23, обраний для забезпечення вентиляції в теплиці, також може виконувати функцію опалення. Це дозволить ефективно підтримувати необхідну температуру в теплиці без потреби в дорогих і складних системах опалення.

4 РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ

4.1 Апаратна реалізація моделі та підключення її елементів

У цьому розділі розглядається розробка апаратної частини для автоматизованої теплиці на базі мікроконтролера Arduino. Забезпечення стабільних умов для росту рослин, зокрема регулювання температури, вологості та освітленості, є одним із ключових завдань для ефективного функціонування теплиць. У цьому контексті Arduino як платформа з відкритим кодом пропонує широкі можливості для створення індивідуальної системи контролю та управління.

Arduino дозволяє реалізувати функції моніторингу та регулювання параметрів середовища, таких як температура, вологість і рівень освітлення. Це також може включати керування поливом, відкривання та закривання вікон для регулювання вентиляції, а також інтеграцію з датчиками й системами оповіщення про будь-які відхилення параметрів від норми. Завдяки модульності та налаштуванню, система може бути адаптована під специфічні потреби різних рослинних культур.

Розробка такої системи на базі Arduino має низку переваг: вона забезпечує гнучкість, економічну доступність і можливість адаптації. Це рішення значно знижує потребу в людському втручанні, створюючи стабільне середовище, оптимальне для росту і розвитку рослин у теплиці.

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		61

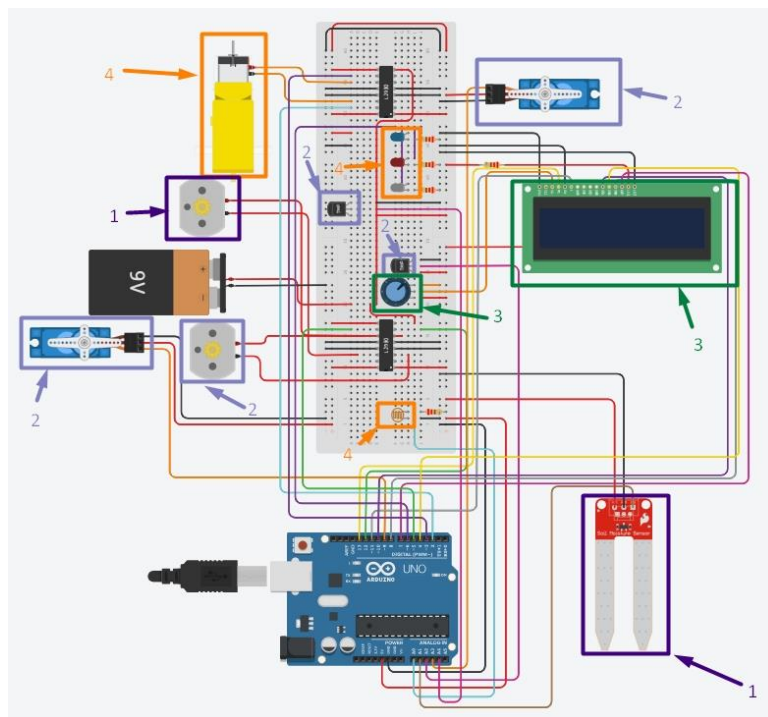


Рис. 4.1 Розроблена модель комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею

Повністю підключена і налаштована апаратна схема автоматизованої теплиці на базі мікроконтролера, представлена на Рис. 4.1, складається з кількох систем, кожна з яких відповідає за підтримання відповідних параметрів мікроклімату в теплиці. До основних компонентів схеми належать система зрошення, система вентиляції та опалення, а також система керування освітленням. Додатково в схемі інтегрований рідкокристалічний дисплей, який забезпечує виведення інформації про поточні показники середовища, такі як температура, вологість та рівень освітлення. На Рис. 4.1 елементи системи зрошення позначені одиницею, елементи системи вентиляції та опалення – двійкою, трійкою позначений рідкокристалічний дисплей та потенціометр для його налаштування, четвіркою же позначені елементи системи керування освітленістю теплиці.

Для живлення та керування двигунами постійного струму, а також двигунами з редукторами, у схемі використовується електричний привід з Н-

мостом L293D, що дозволяє забезпечувати стабільне управління напрямком і швидкістю обертання двигунів. Завдяки цьому рішення можна легко контролювати різні механізми системи теплиці, забезпечуючи точне регулювання параметрів для досягнення оптимальних умов для росту рослин.

4.1.1 Система зрошення теплиці.

Система зрошення в теплиці включає два основні компоненти, що взаємодіють з мікроконтролером: датчик вологості ґрунту та двигун постійного струму, який забезпечує подачу води до спринклера Presto-PS MS8060. Двигун підключений до електричного приводу L293D, який дозволяє регулювати його живлення та керування. Завдяки цьому приводу мікроконтролер може точно контролювати роботу двигуна подачі води, забезпечуючи оптимальний рівень зрошення залежно від показників вологості ґрунту, отриманих з датчика. Двигун, що відповідає за подачу води, підключений через привід L293D і представлений на Рис. 4.2.

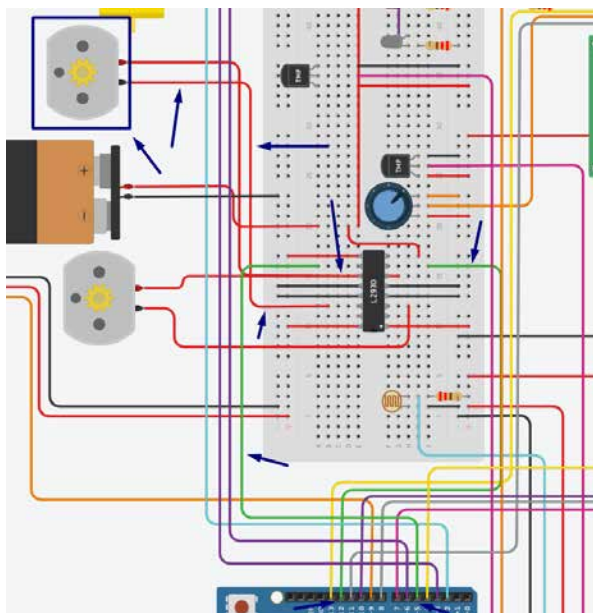


Рис. 4.2 Підключення двигуна постійного струму до МК через електричний привід L293D. Стрілками вказані двигун, привід та їх підключення

L293D — це інтегральний мікросхемний привід для управління малопотужними двигунами постійного струму і кроковими двигунами, що надає можливість керування напрямком обертання та швидкістю. Цей пристрій також захищає електроніку від зворотного струму і перенапруг, які виникають під час зупинки або зміни напрямку обертання двигуна. Вбудовані діоди фрикції запобігають можливим пошкодженням, забезпечуючи стабільну роботу.

L293D складається з двох незалежних напівмістів типу H, кожен з яких здатний керувати одним двигуном. Кожен напівміст має чотири транзистори, що можуть вмикатися або вимикатися для створення різних комбінацій напруги, дозволяючи змінювати напрямок обертання двигуна. Привід живиться від зовнішнього джерела напруги в діапазоні від 4,5 до 36 В, що робить його сумісним з різними типами двигунів.

На Рис. 3.3 представлено схему L293D з усіма контактами. Контакти «EN1» і «EN2» керують вмиканням двигунів незалежно від сигналів на інших контактах. «IN1-4» — це керуючі контакти: подача сигналу на «IN1» змушує двигун обертатися в одному напрямку, тоді як подача сигналу на «IN2» змінює напрямок обертання. Контакти «0V» відповідають за заземлення, а «OUT1-4» забезпечують вихідні сигнали до двигунів («OUT1-2» для першого двигуна, «OUT3-4» для другого). Також є два контакти живлення: «+V» для логічних елементів мікросхеми та «+Vmotor» для двигунів.

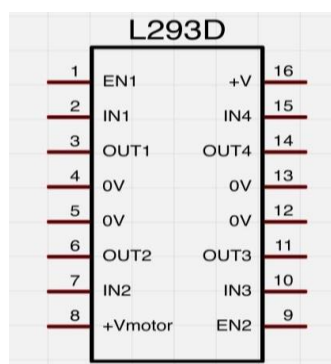


Рис. 4.3 Схема електричного приводу L293D

Для живлення мікросхеми було достатньо 5 В від Arduino, але для двигунів було використано зовнішнє джерело живлення, оскільки 5 В недостатньо для їх роботи.

До складу системи зрошення теплиці також входить датчик вологості ґрунту, який регулює роботу спринклера залежно від рівня вологості. У попередніх розділах було прийнято рішення використовувати для цього Funduino Soil Moisture Sensor. Цей датчик дозволяє точно визначати рівень вологості ґрунту, що забезпечує автоматичне включення або вимкнення спринклера, підтримуючи оптимальний рівень зволоження для рослин.

На Рис. 4.4 представлено підключення датчика вологості ґрунту Funduino Soil Moisture Sensor до мікроконтролера. Цей датчик має три контакти: живлення, заземлення і вихідний сигнал. Живлення для датчика забезпечується від мікроконтролера через контакт на 5В, що є достатнім для його коректної роботи. Для зчитування даних з датчика вихідний контакт сигналу підключають до одного з аналогових портів мікроконтролера. Це дає можливість постійно отримувати інформацію про рівень вологості ґрунту та автоматично керувати роботою системи зрошення відповідно до заданих параметрів.

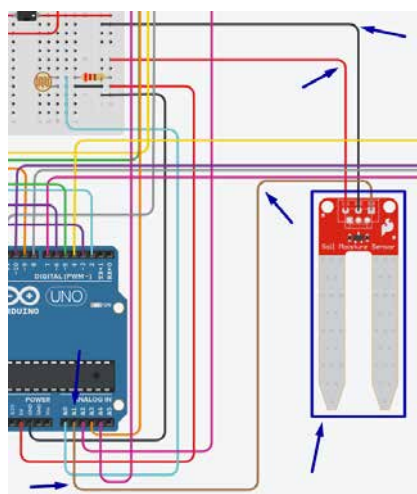


Рис. 4.4 Підключення датчика вологості ґрунту Funduino Soil Moisture Sensor до МК через аналоговий вхід А1

4.1.2 Система вентиляції та опалення теплиці.

Ця система складається з п'яти ключових компонентів: двох сервоприводів, одного двигуна постійного струму, а також двох датчиків температури. Вона забезпечує ефективну вентиляцію теплиці завдяки двом вікнам, обладнаним сервоприводами, і підтримання температури в холодні періоди за допомогою тепловентилятора, представленого двигуном постійного струму.

Як зазначалося раніше, для управління вікнами теплиці обрано сервоприводи Tower Pro MG996R-180. Вікна з сервоприводами розміщені на протилежних кінцях теплиці для забезпечення ефективної циркуляції повітря. Кожен сервопривод має три контакти: живлення, сигнал та заземлення. Живлення сервоприводів забезпечується через 5В контакт мікроконтролера, а сигнал керування подається через відповідний аналоговий або цифровий контакт мікроконтролера. Підключення сервоприводів до мікроконтролера представлено на Рис. 4.5,.

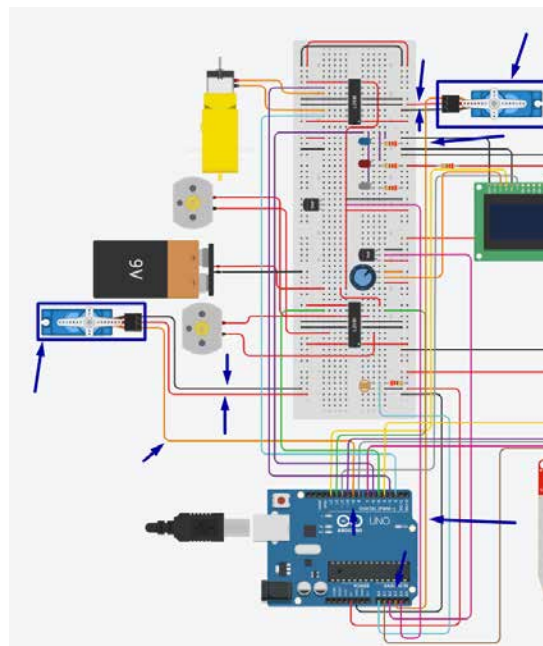


Рис. 4.5 Підключення сервоприводів до МК через 9-тий цифровий порт та А3

Для підвищення температури в теплиці застосовується двигун постійного струму, підключений для подачі повітря за принципом тепловентилятора. Як і двигун для зрошення, він підключений через привід L293D, який забезпечує управління двигуном і живлення від зовнішнього джерела. Це підключення проілюстроване на Рис. 4.6.

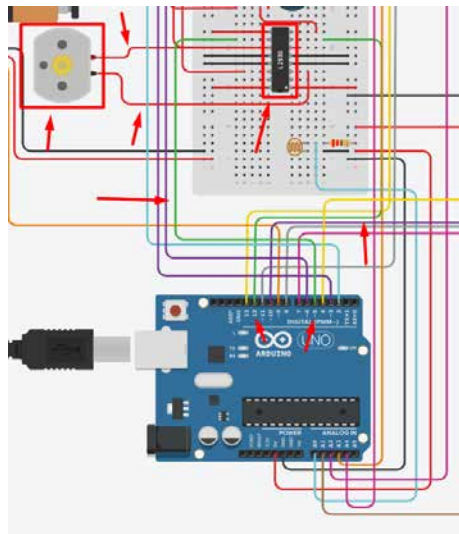


Рис. 4.6 Підключення двигуна тепловентилятора до МК через електричний привід L293D

Однак, щоб використати тепловентилятор у поєднанні з мікроконтролером, на практиці необхідно застосувати твердотільне реле SSR-25DA. Це реле дозволяє підключити та роз'єднати ланцюг живлення однієї зі спіралей тепловентилятора. Для цього потрібно створити розрив у ланцюзі живлення, під'єднати до нього реле, а далі під'єднати реле до мікроконтролера. Залежно від керуючого сигналу, що надходить із відповідного контакту мікроконтролера, реле буде вмикати чи вимикати тепловентилятор, забезпечуючи необхідний мікроклімат у теплиці.

Уся система регулюється даними, отриманими від двох датчиків температури TMP36, позначених на Рис. 4.7. Цей датчик здатний вимірювати

температуру в діапазоні від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що робить його придатним для широкого спектру застосувань у моніторингу температури. Вихідне значення температури передається через аналоговий вихідний сигнал, який лінійно пропорційний температурі навколишнього середовища. Кожен градус Цельсія викликає збільшення вихідної напруги на 10 мілівольт, тому при 0°C вихідна напруга становить 0 В, а при 100°C — 1 В. Важливо враховувати, що датчик має точність $\pm 2^{\circ}\text{C}$, що означає можливість відхилення вимірюваної температури від фактичної на до 2 градуси Цельсія. Така точність забезпечує достатню надійність даних для ефективного управління мікрокліматом у теплиці, що сприяє оптимальному росту рослин і підтриманню необхідних умов для їхнього розвитку.

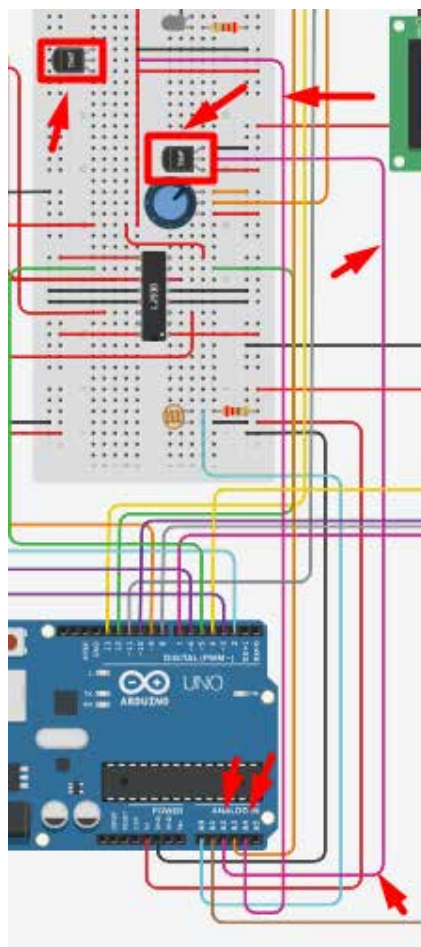


Рис. 4.7 Підключення датчиків температури TMP36 до МК через порти A2 та A4

Для підключення датчик температури TMP36 використовує три контакти: джерело живлення, заземлення і аналоговий вихід, який з'єднується з аналого-цифровим перетворювачем на МК або іншому пристрої збору даних. Живлення обох датчиків здійснюється через 5В вихід МК, як показано на Рис. 4.7. У цій схемі також зазначені порти мікроконтролера, що отримують дані від датчиків, — А2 і А4. Використання двох датчиків обґрунтоване потребою отримувати інформацію про температуру як всередині, так і зовні теплиці для коректної роботи систем вентиляції і зашторювання. З практичної точки зору, датчики розташовані у різних зонах для забезпечення точності вимірювань і оптимального контролю мікроклімату.

4.1.2 Система керування освітленням теплиці.

Система освітлення в теплиці є важливою складовою для підтримки оптимальних умов росту рослин, забезпечуючи їм достатню кількість світла, особливо в умовах недостатнього природного освітлення, наприклад, взимку або в регіонах з обмеженим сонячним світлом. Штучне освітлення необхідне для стимулювання фотосинтезу, що сприяє росту та розвитку рослин. Окрім того, система освітлення в теплиці також включає елементи для зашторювання, що дозволяють контролювати кількість сонячного світла, яке потрапляє всередину теплиці, а також захищають рослини від надмірного перегріву або несприятливих погодних умов.

Вся система освітлення та керування освітленням в теплиці складається з трьох світлодіодних ламп, мотора-редуктора, що відповідає за механічне управління шторками, і фоторезистора, який визначає рівень освітленості в теплиці. Фоторезистор дозволяє автоматично регулювати освітлення, включаючи або вимикаючи лампи залежно від поточного рівня освітленості. Схема підключення всіх компонентів до мікроконтролера Arduino зображена на Рис. 4.8.

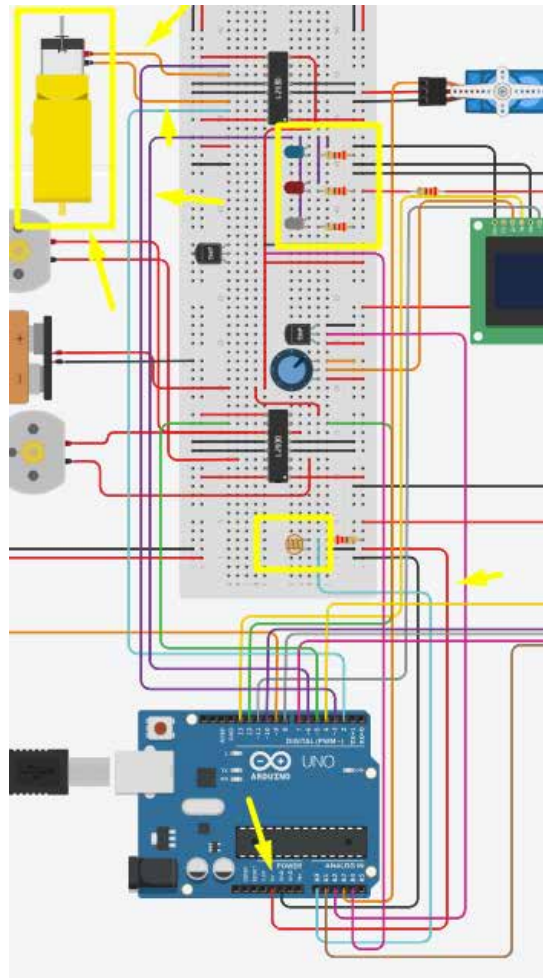


Рис. 4.8 Підключення системи керування освітленням теплиці до МК

Фоторезистор, що використовується в системі освітлення теплиці, є ключовим елементом для вимірювання рівня освітленості навколишнього середовища. Як і більшість інших сенсорів, фоторезистор живиться від контакту на 5В МК. Для коректної роботи фоторезистора використовується резистор, що створює дільник напруги, завдяки чому фоторезистор генерує аналогове значення напруги, пропорційне рівню освітленості. Це значення вимірюється через контакт «А0» МК, що дозволяє визначити, чи потрібно включити світлодіодні лампи для забезпечення необхідного освітлення для рослин.

Фоторезистор може генерувати значення в діапазоні від 20 до 350, залежно від рівня освітленості в теплиці. Якщо освітлення недостатнє, мікроконтролер включає світлодіодні лампи. Керування світлодіодами здійснюється через шостий цифровий порт МК, до якого підключені лампи з резисторами для стабілізації напруги. Оскільки всі світлодіоди контролюються через один порт, кількість ламп може бути змінена відповідно до потреб.

Останнім елементом системи освітлення є мотор-редуктор, що використовується для зашторювання теплиці. Мотор підключений через два цифрових порти (другий і третій) мікроконтролера, оскільки потрібно керувати напрямом обертання для автоматичного закриття і відкриття штори. При цьому мотор-редуктор буде рухатися в одному напрямку для закриття штори і в протилежному напрямку для її збирання. На Рис. 4.8 вказано, як підключені всі елементи, зокрема мотор-редуктор, до мікроконтролера.

4.1.2 Система керування освітленням теплиці.

Рідкокристалічний дисплей LCD 1602 є відмінним вибором для виведення даних у системах автоматизації, таких як теплиця. Його використання дозволяє оператору легко слідкувати за параметрами середовища, такими як температура, вологість, рівень освітленості та інші важливі показники.

LCD 1602 має 16 контактів для підключення до мікроконтролера, які виконують різні функції, такі як живлення, заземлення, управління рядками і стовпцями екрану, а також управління контрастом дисплея. Для підключення цього дисплея до МК потрібні кілька ключових контактів:

- VSS (GND) – заземлення.
- VDD (5V) – живлення дисплея.

- VO – контроль контрасту (підключається до змінного резистора для налаштування контрасту).
- RS (Register Select) – вибір між режимом команд або режимом даних.
- RW (Read/Write) – вибір режиму читання або запису.
- EN (Enable) – сигнал для активації дисплея.
- D0-D7 – лінії даних (якщо використовується 8-розрядний режим, підключаються всі лінії, для 4-розрядного режиму — D4-D7).
- A, K – підключення підсвічування (анод і катод).

Як показано на Рис. 4.9, схема підключення дисплея до МК передбачає правильне з'єднання цих контактів для забезпечення коректної роботи дисплея. Рідкокристалічний дисплей LCD 1602 підтримує відображення символів розміром 5×8 пікселів, що дозволяє виводити текстовий інформаційний контент, використовуючи стандартні символи англійської абетки, а також можливість створення власних символів (на основі 5×8 пікселів).

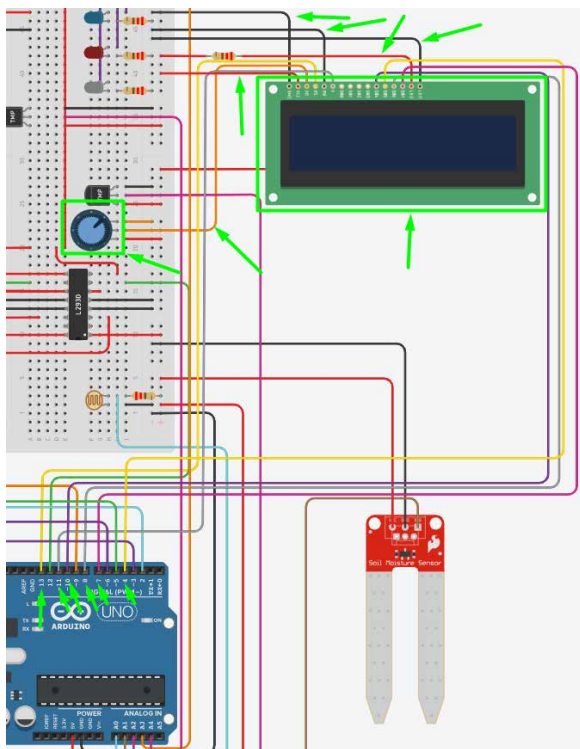


Рис. 4.9 Підключення LCD 1602 до МК та потенціометра

Дисплей оснащений вбудованим підсвічуванням, яке дозволяє забезпечити видимість інформації в умовах недостатнього природного освітлення. Проте для живлення підсвічування не можна використовувати 5 В, які застосовуються для живлення інших компонентів схеми, оскільки ця напруга є занадто високою для світлодіода в дисплеї. Для вирішення цієї проблеми в ланцюзі підсвічування встановлюється резистор, який обмежує струм, що подається на світлодіод, тим самим зменшуючи напругу і регулюючи яскравість дисплея. Це дає змогу досягти оптимального рівня підсвічування, що забезпечує комфортне сприйняття інформації на дисплеї.

Додатково, на макетній платі встановлений потенціометр, підключений до дисплея через контакт контрастності. Цей компонент дозволяє регулювати контрастність відображення на екрані, що особливо корисно за умов змінного рівня освітлення в теплиці. Потенціометр дає змогу вмикати або вимикати відображення дисплея в будь-який момент, а також налаштовувати його контрастність для забезпечення максимальної видимості інформації.

4.2 Програмне забезпечення для моделювання системи управління теплицею

Програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino є ключовою складовою проекту системи управління теплицею, оскільки визначає алгоритми роботи та послідовність дій для контролю різних елементів системи. Програмна частина реалізується через написання коду, який працює на самому мікроконтролері, і призначений для управління такими параметрами, як освітлення, температура і вологість, а також для відображення відповідних показників на LCD-дисплеї. Arduino використовує просту, зрозумілу мову програмування, яка ґрунтується на C/C++ і дозволяє

організувати роботу всіх компонентів системи у вигляді взаємопов'язаних модулів.

Особливість програмного забезпечення Arduino полягає в наявності великої кількості бібліотек, які значно спрощують процес взаємодії з різними датчиками й елементами управління. Бібліотеки містять готові функції й методи для зчитування даних з датчиків температури, вологості, освітленості та керування реле, що дозволяє швидко й ефективно програмувати бажану поведінку системи, не заглиблюючись у низькорівневі технічні деталі.

Створений програмний код забезпечує зручне та гнучке управління теплицею, яке можна адаптувати під конкретні вимоги, що виникають під час експлуатації. Програмування на Arduino дозволяє реалізувати сценарії автоматизації, спрямовані на підтримку оптимальних умов для рослин, а також підвищення ефективності функціонування теплиці в цілому.

Програмна реалізація складається з основної програми для виконання на мікроконтролері, лістинг якої наводиться в Додатку А. Код поділено на кілька логічних блоків, які відповідають функціональним системам, з яких складається апаратна частина проекту: система освітлення, система поливу, система вентиляції й опалення, а також алгоритм виведення даних на рідкокристалічний дисплей. Такий структурований підхід сприяє модульності та дозволяє легко вносити зміни чи налаштування для конкретних умов теплиці.

4.2.1 Блок системи вентиляції та опалення теплиці.

Програмне забезпечення автоматизованої теплиці передбачає реалізацію алгоритмів роботи для двох сервоприводів, двигуна постійного струму, а також двох датчиків температури, що регулюють вентиляцію й опалення. Початкова частина програмного коду, представлена в лістингу 3.1, демонструє налаштування системи вентиляції та опалення. На першому етапі

програма підключає бібліотеку «Servo», необхідну для управління сервоприводами, та створює два об'єкти, які дозволяють керувати кожним сервоприводом окремо.

Далі визначаються константи, що прив'язують певні контакти мікроконтролера до елементів системи. Наприклад, константи «VENTILATION_SERVO1» і «VENTILATION_SERVO2» відповідають за контакти для підключення сервоприводів, «HEATING_PIN» — для керування тепловентилятором, а «TEMP_SENSOR» і «OUTDOOR_TEMP_SENSOR» — для роботи з датчиками температури. Крім того, визначаються змінні «tempInside» і «tempOutside», які зчитують показники температури відповідно з внутрішнього і зовнішнього датчиків теплиці. Ці змінні забезпечують можливість адаптації програми до різних умов, враховуючи статус відкриття чи закриття вікон і ввімкнення або вимкнення тепловентилятора залежно від поточної температури всередині та ззовні теплиці.

Лістинг 4.1 Задання змінних, констант та бібліотек для системи вентиляції та опалення

```
#include <Servo.h>
#define TEMP_SENSOR A2
#define OUTDOOR_TEMP_SENSOR A4
#define VENTILATION_SERVO1 9
#define VENTILATION_SERVO2 A3
#define HEATING_PIN 12
Servo win, win2;
int tempInside = 0, tempOutside = 0;
bool motorFlag = false, ventilationFlag = false, heatingFlag
= false;
```

Після задання змінних у структурі програми для мікроконтролера Arduino йде функція `void setup()`, яка виконується лише один раз після ввімкнення контролера. Частина цієї функції, пов'язана з управлінням системою вентиляції та опалення, представлена в лістингу 4.2.

Лістинг 4.2 Програмна реалізації системи в функції «`void setup()`»

```
pinMode (VENTILATION_SERVO1, OUTPUT);  
pinMode (VENTILATION_SERVO2, OUTPUT);  
pinMode (TEMP_SENSOR, INPUT);  
pinMode (OUTDOOR_TEMP_SENSOR, INPUT);  
pinMode (HEATING_PIN, OUTPUT);  
  
win.attach (VENTILATION_SERVO1);  
win2.attach (VENTILATION_SERVO2);  
win.write (0);  
win2.write (0);
```

На початку `void setup()` визначається режим роботи портів мікроконтролера: одні контакти налаштовуються для прийому даних (вхідні), а інші — для передачі команд (вихідні). Це налаштування є важливим для забезпечення правильної комунікації між компонентами системи. Далі об'єкти сервоприводів зв'язуються з відповідними контактами на мікроконтролері, які були попередньо задані в константах, і з них подається команда для встановлення сервоприводів у стартову позицію — 0° . Це початкове налаштування забезпечує правильне положення сервоприводів перед початком основного циклу виконання програми, що є критичним для контролю вентиляції та забезпечення оптимального мікроклімату всередині теплиці.

Функція `manageVentilationHeating()` є основним елементом програмного коду, який відповідає за автоматичне керування системою вентиляції та обігріву теплиці. Програмна реалізація цієї функції представлена в лістингу 4.3. Спершу ця функція зчитує значення з

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		76

температурних датчиків, підключених до відповідних портів мікроконтролера. Для масштабування отриманих даних використовується функція `map()`, яка приводить значення у зручний діапазон. Додатково, щоб уникнути виходу значень за допустимі межі, застосовується функція `constrain()`, яка обмежує зчитані показники до заданих мінімуму та максимуму.

Наступним етапом у функції `manageVentilationHeating()` є цикл, що реалізує логіку керування сервоприводами і тепловентилятором залежно від температурних показників. Наприклад, якщо зовнішня температура нижча за 30°C, а температура всередині теплиці перевищує 30°C, функція провітрювання автоматично відкриє вікна, якщо вони до цього були зачинені. Відкриття вікон здійснюється за допомогою команд для сервоприводів, які повертають їх на 90°, а згодом на 180° для повного відкриття.

Крім того, в залежності від температурних умов, функція може ввімкнути або вимкнути тепловентилятор, надсилаючи високий або низький сигнал на цифровий порт, до якого він підключений.

Лістинг 4.3 Основна функція, що реалізує провітрювання та опалення

```
void manageVentilationHeating() {
  if (tempInside > 30 && tempOutside < 30) {
    if (!ventilationFlag) {
      win.write(90);
      win2.write(90);
      delay(1000);
      win.write(180);
      win2.write(180);
      ventilationFlag = true;
    } else if (heatingFlag) {
      digitalWrite(HEATING_PIN, LOW);
      heatingFlag = false;
    }
  } else if (tempInside < 18 && tempOutside < 18) {
    if (ventilationFlag) {
```

```

        win.write(90);
        win2.write(90);
        delay(1000);
        win.write(0);
        win2.write(0);
        ventilationFlag = false;
    }
    if (!heatingFlag) {
        digitalWrite(HEATING_PIN, HIGH);
        heatingFlag = true;
    }
} else if (tempInside < 18 && tempOutside > 18 &&
!heatingFlag) {
    if (!ventilationFlag) {
        win.write(90);
        win2.write(90);
        delay(1000);
        win.write(180);
        win2.write(180);
        ventilationFlag = true;
    }
    digitalWrite(HEATING_PIN, HIGH);
    heatingFlag = true;
}
}
}

```

4.2.2 Блок системи освітлення теплиці.

Програмна реалізація системи освітлення в теплиці структурована у три основні блоки: змінні та константи, функція ініціалізації `void setup()`, та основна функція керування `manageLighting()`. Лістинг 4.4 демонструє повний код цієї реалізації.

На початку коду за допомогою директиви `#define` задаються константи, які відповідають портам МК, до яких підключені компоненти освітлювальної системи. Далі створюються кілька змінних: `photoValue` для зберігання показників фоторезистора, `ledBrightness` для регулювання яскравості світлодіодів, а також змінна, що визначає стан заштореності теплиці, якою керує мотор-редуктор - `motorFlag` .

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		78

У функції `void setup()` встановлюються режими роботи портів, призначених для світлодіодів, фоторезистора та мотор-редуктора, визначаючи їх як вихідні або входні. У функції `manageLighting()` спочатку зчитується і масштабується значення температури та освітленості. Рівень освітленості, після масштабування до діапазону від 0 до 255, використовується для встановлення яскравості світлодіодів, що дозволяє адаптувати освітлення до змінних умов.

Рівень освітленості в процентах також передається на послідовний порт МК, що забезпечує оператору зручний доступ до поточних даних. Завершальна частина коду містить логіку для управління мотор-редуктором, який реагує на рівень освітленості та зовнішню температуру. Цей механізм забезпечує автоматичне зашторювання теплиці, якщо освітленість або температура виходять за встановлені межі, створюючи оптимальні умови для рослин.

Лістинг 4.4 Програмна реалізація системи освітлення

```
#define LED_PIN 6
#define RED_MOTOR_FWD 2
#define RED_MOTOR_BWD 3
#define PHOTO_RESISTOR A0

int photoValue = 0, ledBrightness = 0;
bool motorFlag = false

void setup() {
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(PHOTO_RESISTOR, INPUT);
  pinMode(RED_MOTOR_FWD, OUTPUT);
  pinMode(RED_MOTOR_BWD, OUTPUT);
}

void manageLighting() {
  photoValue = analogRead(PHOTO_RESISTOR);
  ledBrightness = map(photoValue, 713, 1022, 0, 255);
  ledBrightness = constrain(ledBrightness, 0, 255);
  analogWrite(LED_PIN, ledBrightness);
}
```

```

lightPercent = map(photoValue, 713, 1022, 100, 0);

Serial.print("Light level: ");
Serial.print(lightPercent);
Serial.println(" %");

if (lightPercent > 80 || tempInside > 30 || tempInside <
18) {
    if (!motorFlag) {
        digitalWrite(RED_MOTOR_BWD, HIGH);
        delay(900);
        digitalWrite(RED_MOTOR_BWD, LOW);
        motorFlag = true;
        Serial.print("Flag variable: ");
        Serial.println(motorFlag);
    }
    } else if (tempInside > 18 && tempInside < 30 &&
lightPercent < 70) {
        if (motorFlag) {
            digitalWrite(RED_MOTOR_FWD, HIGH);
            delay(900);
            digitalWrite(RED_MOTOR_FWD, LOW);
            motorFlag = false;
            Serial.print("Flag variable: ");
            Serial.println(motorFlag);
        }
    }
}
}

```

4.2.3 Блок системи зрошення теплиці.

Система зрошення реалізована апаратно за допомогою датчика вологості ґрунту і двигуна постійного струму, що виконує функцію подачі води для зрошення теплиці. Програмна реалізація цієї системи порівняно проста, але також дотримується загальної структури програмного коду, що застосовується в інших системах. Лістинг 4.5 демонструє код, який керує системою зрошення.

Лістинг 4.5 Програмна реалізація системи зрошення теплиці

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		80

```

#define MOISTURE_SENSOR A1
#define IRRIGATION_MOTOR 5

int moistureValue = 0, moisturePercent = 0;

void setup() {
  pinMode(IRRIGATION_MOTOR, OUTPUT);
  pinMode(MOISTURE_SENSOR, INPUT);
}

void manageIrrigation() {
  moistureValue = analogRead(MOISTURE_SENSOR);
  moisturePercent = map(moistureValue, 0, 876, 0, 100);
  moisturePercent = constrain(moisturePercent, 0, 100);

  Serial.print("Humidity level: ");
  Serial.print(moisturePercent);
  Serial.println(" %");

  digitalWrite(IRRIGATION_MOTOR, moisturePercent < 70 ?
HIGH : LOW);
}

```

У програмній реалізації системи зрошення, спочатку задаються константи для портів, до яких підключені двигун постійного струму та датчик вологості ґрунту. Це дозволяє мікроконтролеру правильно визначити, які порти використовувати для зчитування даних і для керування роботою двигуна. Далі в програмі визначаються дві змінні, які зберігають значення, що надає датчик вологості. Це значення зчитується з аналогового порту мікроконтролера і масштабується до діапазону 0-100, що дозволяє отримати відсоткове значення вологості ґрунту.

У функції `void setup()` налаштовуються порти для роботи з датчиком вологості і двигуном, що дає можливість правильно взаємодіяти з цими компонентами при запуску системи. Далі в основній частині програми відбувається обробка значень, отриманих від датчика вологості, що масштабується та виводиться на послідовний порт мікроконтролера через функцію `Serial.print()` для моніторингу рівня вологості.

Основна логіка роботи системи зрошення реалізована в блоці, що знаходиться в кінці функції. Тут через умовний оператор `if` система перевіряє рівень вологості. Якщо він менший за 70%, то вмикається двигун, що подає воду для зрошення. Якщо ж рівень вологості підвищується до 80% або більше, двигун вимикається, припиняючи подачу води. Цей алгоритм дозволяє автоматично підтримувати оптимальний рівень вологості ґрунту в теплиці.

4.2.4 Блок системи виведення інформації.

Програмна реалізація системи виведення інформації, організована таким чином, що вона взаємодіє з іншими системами через дані, отримані від датчиків. Це дозволяє зібрати та відобразити інформацію про параметри середовища теплиці, такі як температура, вологість і освітленість. В лістингу 4.6 продемонстровано всю програмну реалізацію системи виведення інформації.

Лістинг 4.6 Програмна реалізація системи виведення інформації

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(13, 11, 10, 4, 8, 7);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  byte gradus[8] = {0b01100, 0b10010, 0b10010, 0b01100,
0b00000, 0b00000, 0b00000, 0b00000};
  lcd.createChar(2, gradus);
}

void displayData() {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temperature:");
  lcd.print(tempInside);
  lcd.write(byte(2));
  lcd.print("C");

  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("Humidity: ");
  lcd.print(moisturePercent);
```

```

lcd.print("%");
delay(1500);

for (int i=0; i<40; i++){
    delay(100);
    lcd.scrollDisplayLeft();
    delay(100);
}
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("  Light Level");
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print(lightPercent);
lcd.print("%");
delay(1000);

for (int i=0; i<40; i++){
    delay(100);
    lcd.scrollDisplayLeft();
    delay(100);
}
lcd.clear();
}

```

Програма для відображення інформації на рідкокристалічному дисплеї LCD 1602 розпочинається з підключення бібліотеки `LiquidCrystal.h`, що дає змогу працювати з дисплеєм через стандартний інтерфейс. Спочатку за допомогою директиви `#include` підключається ця бібліотека, після чого створюється об'єкт бібліотеки, який називається `lcd`, і в який передаються порти, підключені до дисплея. Це забезпечує зручний доступ до функцій дисплея.

Оскільки дисплей LCD 1602 підтримує можливість створення користувацьких символів в формат 5x8 пікселів, створюється змінна типу `byte`, яка зберігає символ градуса для відображення температури. Завдяки цьому можна вивести спеціальний символ для градуса Цельсія замість використання звичайного тексту.

У функції `void setup()`, яка виконується один раз при запуску програми, викликається функція `lcd.begin(16, 2)`, що встановлює розмір

дисплею, після цього створюється графічний символ градуса Цельсія в масиві 'gradus[8]' та завантажується в якості нового символу для відображення на дисплеї.

Основна функція відображення інформації на дисплеї називається 'displayData()'. У ній спочатку встановлюється курсор у лівий верхній кут дисплея за допомогою функції 'setCursor()'. Це дозволяє вивести текст на конкретному рядку та стовпці дисплея. Далі, використовуючи функцію 'print()', на дисплеї виводиться інформація, зокрема текст "Temperature:", потім значення температури в градусах Цельсія, що зберігається в змінній 'tempInside', а також символ градуса, створений раніше. В кінці виводиться літера "C", і на дисплеї з'являється форматований рядок на кшталт «Temperature: 25°C».

Аналогічно виводиться й інформація про вологість ґрунту, але курсор перед цим зміщується на один рядок вниз, щоб забезпечити чистоту виведення на дисплеї.

Для зручності передбачена затримка в півтори секунди після виведення кожної порції даних, щоб оператор встиг прочитати інформацію. Затримка реалізується за допомогою функції 'delay()'.

Після виведення основної інформації виконується цикл, що через кожні 0,2 секунди рухає дисплей вліво, використовуючи функцію 'scrollDisplayLeft()'. Це дає можливість зробити прокрутку тексту на дисплеї, що особливо зручно при великих обсягах даних або тексту. Наприкінці кожного циклу дисплей очищується за допомогою функції 'clear()', після чого на ньому виводиться нова інформація, наприклад, рівень освітленості, також з прокруткою.

Такий підхід до виведення інформації дозволяє постійно оновлювати дані на дисплеї, а також забезпечує зручний моніторинг параметрів середовища в теплиці для оператора.

5 ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ

5.1 Тестування проекту

Тестування роботи проекту автоматичного підтримання параметрів мікроклімату в теплиці є важливою частиною перевірки працездатності всієї системи. Це дозволяє впевнитися, що всі датчики і компоненти правильно реагують на зміни умов середовища та виконують свої функції в залежності від заданих параметрів.

Тестування починається з встановлення початкових значень, які є стандартними для даного сценарію. В даному випадку: температура всередині і зовні теплиці становить 24°C, вологість ґрунту — 0%, а рівень освітленості — 13%.

При таких параметрах повинна активуватися система зрошення, оскільки вологість ґрунту надзвичайно низька. Включення двигуна постійного струму активує подачу води для зрошення теплиці, що є частиною автоматичної системи поливу. Окрім цього, з огляду на мінімальний рівень освітленості, повинні ввімкнутися світлодіодні лампи для освітлення теплиці.

Результати виконання тестування повинні підтверджувати, що система працює коректно: двигун для поливу включений, а світлодіодні лампи активно освітлюють теплицю. Інші елементи системи (такі як вентиляція чи опалення) не повинні активуватися, оскільки температура в межах норми, а зволоження ґрунту буде відновлено за допомогою поливу.

На рис. 5.1 видно, що система працює так, як повинна — ввімкнені двигун та світлодіоди, тоді як інші елементи залишаються вимкненими, що

свідчить про коректну роботу тестованих компонентів при заданих параметрах.

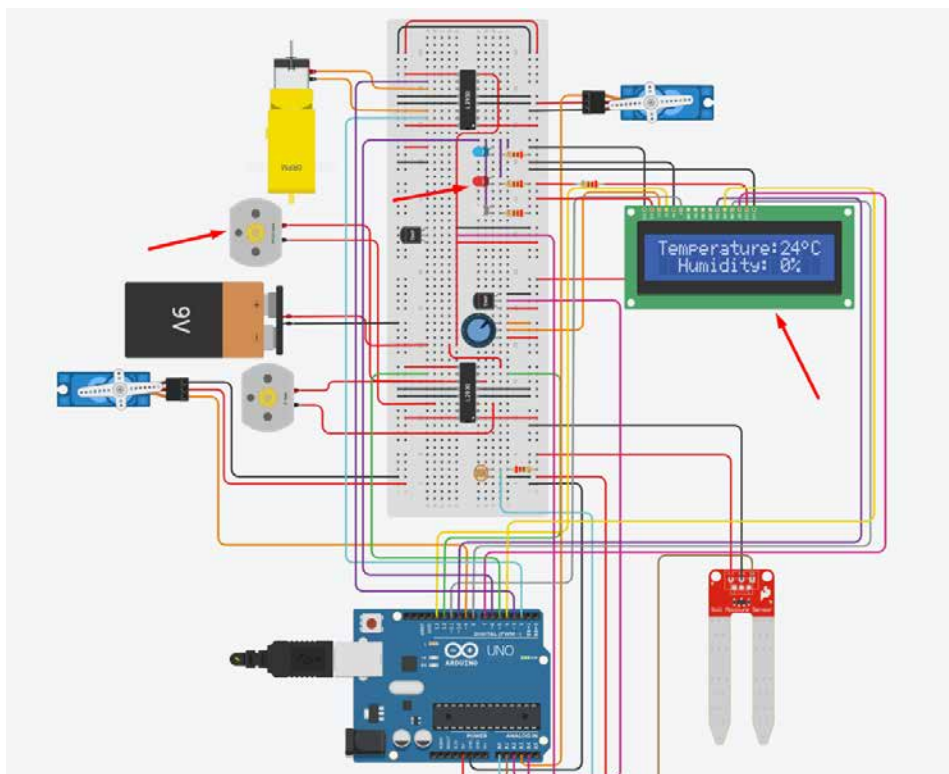


Рис. 5.1 Результати першого тестування

Тестування системи автоматизації теплиці при змінених умовах, таких як зниження температури всередині теплиці та підвищення рівня вологості ґрунту, дозволяє перевірити, як система адаптується до змін середовища та коректно реагує на них. У рамках тестування було встановлено такі параметри: температура всередині теплиці становить 13°C, температура зовні — 31°C, вологість ґрунту — 98%, а рівень освітленості — 25%.

З таким набором умов система зрошення автоматично вимикається, оскільки рівень вологості ґрунту перевищує поріг, встановлений на 80%. Це запобігає перезволоженню ґрунту та економить ресурси. Одночасно з цим спрацьовує система опалення: тепловентилятор включається для підвищення температури всередині теплиці, щоб забезпечити комфортні умови для

рослин. Оскільки температура зовні є вищою, ніж всередині, система вентиляції відкриває вікна для того, щоб пропустити тепле повітря і забезпечити підвищення температури всередині теплиці. Робота системи під час такого тестування зображена на Рис. 5.2.

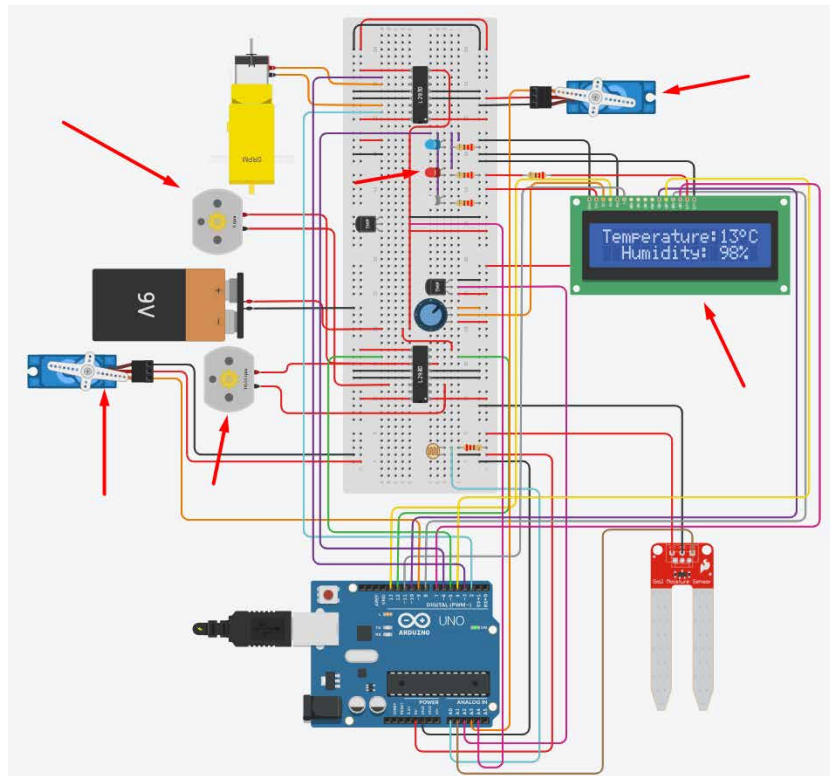


Рис. 5.2 Результати другого тестування

Що стосується освітлення, рівень природного освітлення досягнув 25%, тому система освітлення автоматично знижує яскравість світлодіодних ламп, щоб зменшити споживання енергії. Це дозволяє оптимізувати витрати енергоресурсів, адже природне освітлення вже забезпечує необхідні умови для росту рослин.

Таким чином, тестування показало, що система автоматично адаптується до змінних умов навколишнього середовища, виконуючи необхідні функції для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в теплиці. Вона ефективно поєднує роботу різних систем, таких як зрошення,

опалення, вентиляція та освітлення, що дозволяє забезпечити комфортне середовище для рослин за допомогою автоматизованого контролю.

У наступному сценарії тестування, спостерігається підвищення зовнішньої температури разом з рівнем освітленості та зниженням рівня вологості ґрунту. Параметри тестування в цьому випадку: температура всередині теплиці – 24°C, зовні – 42°C, вологість ґрунту – 30%, а рівень освітленості – 94%. Результати тестування продемонстровані на Рис. 5.3.

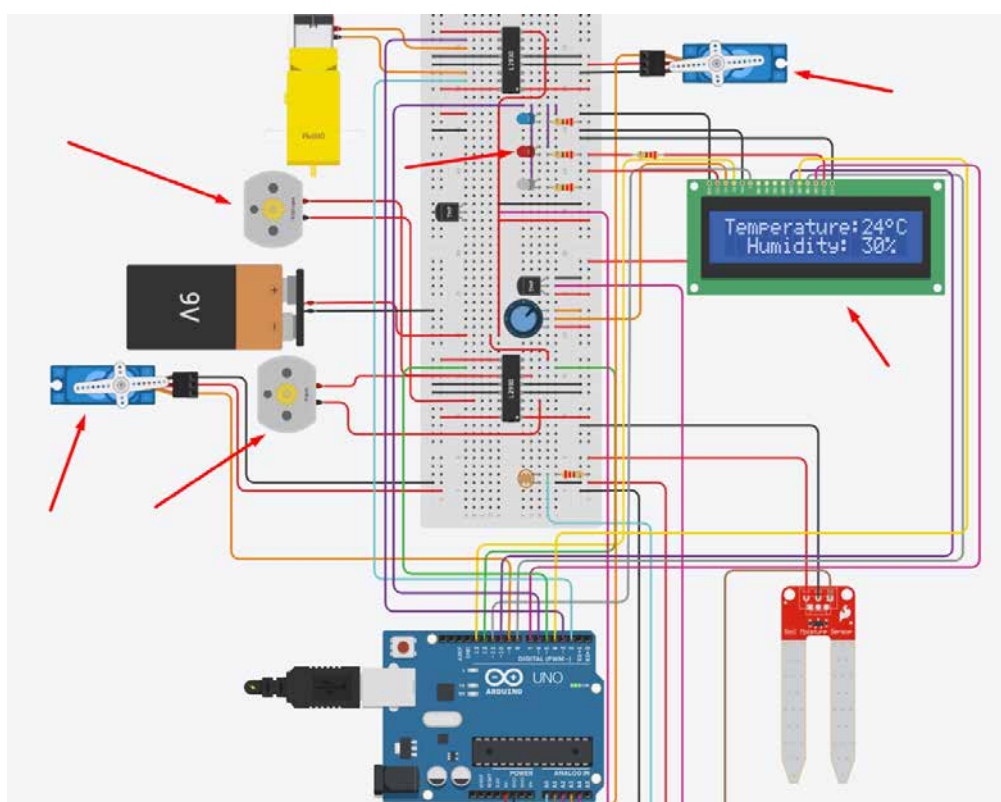


Рис. 5.3 Результати третього тестування

У цьому випадку система автоматично активує мотор-редуктор для зашторювання теплиці. Це робиться для зменшення впливу надмірного зовнішнього світла та високої температури на внутрішні умови. Штори, які закривають теплицю, допомагають зберегти оптимальний рівень освітленості та температури всередині, забезпечуючи комфортні умови для рослин.

З системою вентиляції відбувається наступне: вікна теплиці закриваються, оскільки зовнішня температура занадто висока. Таким чином, вентиляція відключається для збереження теплоізоляції.

Тепловентилятор вимикається, оскільки температура всередині теплиці є достатньою, і додатковий нагрів уже не потрібен. У той же час система зрошення активує спринклер для поливу ґрунту. Це необхідно, оскільки зниження вологості ґрунту до 24% потребує негайного втручання для підтримання оптимального рівня вологи для рослин. Також світлодіодні лампи знижують свою яскравість, оскільки рівень освітленості зовні вже достатній, і немає потреби в додатковому освітленні.

Таким чином, в результаті тестування система автоматизованого контролю ефективно адаптується до підвищеної температури, зменшує надмірне освітлення, контролює рівень вологості ґрунту, і оптимізує використання енергетичних ресурсів для підтримки сприятливого мікроклімату всередині теплиці.

5.2 Аналіз продуктивності та ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи управління теплицею

Аналіз ефективності роботи комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею, що базується на мікроконтролері Arduino UNO R3 та низці допоміжних пристроїв демонструє можливість створення автономної системи підтримки оптимальних кліматичних умов у теплиці. Ця система поєднує автоматичний контроль кількох параметрів, що забезпечує зменшення ручної праці, покращує умови для зростання рослин та підвищує економічну ефективність тепличного виробництва.

Однією з головних переваг цієї системи є автоматичне управління зрошенням за допомогою датчика вологості ґрунту та зрошувача. Система

постійно відслідковує рівень вологості і активує подачу води, коли ґрунт стає сухим. Це дозволяє уникнути як надмірного, так і недостатнього зволоження, що оптимізує витрати води та сприяє здоровому росту рослин. У традиційних системах зрошення контроль вологості зазвичай здійснюється вручну, що потребує більше ресурсів і часу. Водночас автоматизоване зрошення дозволяє підтримувати стабільний рівень вологості, що особливо важливо в умовах закритого простору теплиці.

Два датчики температури, розміщені зовні та всередині теплиці, забезпечують систему інформацією про кліматичні умови з обох сторін тепличної конструкції. Ця інформація використовується для управління такими пристроями, як тепловентилятор та вентиляційна система. Тепловентилятор вмикається автоматично, якщо температура всередині падає нижче оптимального рівня, що забезпечує збереження тепла і підтримку сприятливого мікроклімату для рослин в холодні періоди. За рахунок такого рішення знижуються втрати тепла, оскільки пристрій працює лише за потреби, тим самим оптимізуючи витрати електроенергії. Автоматизація процесу обігріву дозволяє мінімізувати людський контроль над температурним режимом і зменшує залежність роботи теплиці від зовнішніх умов.

Сервоприводи, які автоматично відкривають та закривають вікна теплиці, забезпечують циркуляцію повітря для зниження вологості і температури у разі їхнього надмірного підвищення. Система враховує як внутрішню, так і зовнішню температуру, тому вентиляція відбувається відповідно до поточних умов. Це сприяє підвищенню енергоефективності, оскільки запобігає надмірному нагріванню простору і необхідності додаткових енергетичних витрат на охолодження.

Мотор-редуктор для зашторювання дозволяє регулювати кількість сонячного світла, яке потрапляє всередину теплиці, і тим самим уникати перегріву рослин у спекотні періоди. У поєднанні з датчиком освітленості ця

система автоматично зашторює вікна, коли рівень освітленості стає надмірним, і навпаки, відкриває штори при недостатньому освітленні. Такий контроль рівня освітленості є необхідним для забезпечення оптимальних умов для фотосинтезу рослин, зниження теплового навантаження влітку і зменшення потреби в штучному освітленні, що також знижує енергоспоживання.

Встановлені LED-лампи забезпечують додаткове освітлення при низькому рівні природного світла, що є особливо актуальним у зимові місяці або в похмурі дні. Завдяки використанню світлодіодних ламп, які відомі своєю енергоефективністю та довговічністю, зменшується загальна потреба в електроенергії. Система автоматично регулює інтенсивність освітлення, враховуючи дані від датчика освітленості, що дозволяє підтримувати потрібний рівень світла для рослин, не створюючи зайвих витрат.

Основою всієї системи є мікроконтролер Arduino UNO R3, який обробляє сигнали від всіх датчиків і керує виконавчими пристроями. Arduino має достатню обчислювальну потужність для обробки вхідних даних і прийняття відповідних рішень, що робить його ефективним рішенням для управління теплицею. Його простота у програмуванні та доступність в обслуговуванні сприяють гнучкості у налаштуванні системи під специфічні потреби тепличного господарства.

В цілому, комп'ютерно інтегрована система управління теплицею, яка базується на мікроконтролері Arduino UNO R3, дозволяє досягти ефективного і економічно вигідного вирощування рослин за рахунок автоматизації процесів контролю температури, вологості ґрунту, освітленості та вентиляції. Система знижує операційні витрати, пов'язані з енерговитратами та споживанням води, а також зменшує потребу в постійному людському контролі. В довгостроковій перспективі така автоматизована система управління мікрокліматом може значно підвищити врожайність і забезпечити

стабільніші результати, оптимізуючи ресурсні затрати та підвищуючи ефективність роботи тепличного комплексу.

5.3 Аналіз економічної ефективності системи.

Система передбачає одноразові витрати на її впровадження, які включають вартість обладнання, проектування, монтажу та налаштування програмного забезпечення. МК Arduino UNO R3 є економічно вигідним рішенням завдяки своїй низькій вартості, доступності та гнучкості в налаштуванні. Датчики, сервоприводи та ротор-мотор для зашторювання обрані з урахуванням їхньої доступності та ефективності для завдань, що виконуються в теплиці. Світлодіодні лампи мають значно менше енергоспоживання і довгий термін служби, що сприяє зменшенню витрат на освітлення. Тепловентилятор забезпечує ефективний обігрів, а його інтеграція до автоматизованої системи дозволяє оптимізувати використання енергії.

Важливим аспектом економічної ефективності є зниження експлуатаційних витрат. Система автоматизованого керування зрошенням, вентиляцією, освітленням і обігрівом значно скорочує використання ресурсів, таких як електроенергія та вода. Завдяки автоматичному регулюванню поливу, вода подається лише тоді, коли це необхідно, що не лише зменшує її витрати, але й підтримує оптимальні умови для рослин. Світлодіодні лампи, які регулюються залежно від освітленості, дозволяють економити електроенергію, а автоматичне керування тепловентилятором мінімізує споживання енергії в холодну пору року.

Система також зменшує залежність від людського фактора, що дозволяє знизити витрати на оплату праці. Автоматизація провітрювання, зрошення, освітлення та інших процесів забезпечує ефективне управління мікрокліматом теплиці без постійної присутності персоналу.

Ще одним ключовим фактором економічної ефективності є підвищення врожайності та якості продукції. Завдяки стабільному контролю мікроклімату створюються оптимальні умови для зростання культур, що дозволяє отримувати більший обсяг продукції з покращеними характеристиками. Це сприяє підвищенню доходів від реалізації врожаю, а також знижує ризики втрати продукції через несприятливі умови.

Розроблена система є універсальною та масштабованою, що дозволяє адаптувати її до різних типів теплиць і культур. Це забезпечує можливість її впровадження як у малих, так і в великих тепличних господарствах. Окупність системи залежить від її масштабів, однак для невеликих теплиць вона зазвичай становить 1–3 роки. В більших тепличних господарствах ефект від економії ресурсів і підвищення врожайності дозволяє ще швидше повернути початкові інвестиції.

Таким чином, впровадження комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею забезпечує суттєву економічну вигоду. Поєднання зниження експлуатаційних витрат, підвищення врожайності та якості продукції, а також універсальності і масштабованості системи робить її ефективним інструментом для розвитку сучасного тепличного господарства.

ВИСНОВОК

У процесі виконання роботи було досягнуто низку важливих результатів, спрямованих на розробку комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею. Проведений аналіз сучасних технологій автоматизації у сільському господарстві дозволив сформулювати уявлення про перспективні підходи до управління мікрокліматом у теплицях. У першому розділі роботи розглянуто новітні рішення в галузі моніторингу стану рослин, використання бездротових технологій, IoT, а також застосування мікроконтролерів Arduino для реалізації автоматизованих систем. Ці знання стали базою для проектування ефективної інтегрованої системи управління.

На основі отриманих даних було сформовано основні вимоги до системи управління, визначено параметри її роботи та обґрунтовано вибір апаратно-програмної архітектури. Особливу увагу було приділено вибору обладнання, включаючи датчики температури, вологості ґрунту, освітлення, спринклери для зрошення, вентилятори, нагрівальні елементи, а також системи зашторювання й освітлення. Вибір цих компонентів здійснювався з урахуванням їхньої надійності, функціональності та сумісності з мікроконтролерами.

Розроблена апаратна реалізація включає модульну структуру, що забезпечує зручність налаштування та можливість масштабування системи. Усі компоненти були інтегровані в єдину систему, здатну автоматично підтримувати оптимальні умови для вирощування рослин у теплиці.

Програмне забезпечення було створене з використанням мови програмування для мікроконтролерів Arduino. Логіка роботи системи реалізована у вигляді окремих функціональних блоків, кожен з яких відповідає за управління певною підсистемою.

Етап тестування підтвердив функціональність та надійність розробленої системи. В ході випробувань перевірено коректність роботи всіх

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		94

підсистем, а також взаємодію між ними. Аналіз продуктивності показав, що система ефективно реагує на зміни умов у теплиці та автоматично підтримує параметри в межах заданих значень.

Загалом, проведені дослідження та розробка демонструють перспективність впровадження сучасних технологій автоматизації у тепличне господарство. Використання комп'ютерно інтегрованих систем дозволяє значно підвищити ефективність управління агротехнічними об'єктами, що відкриває нові можливості для розвитку розумного сільського господарства. Результати роботи можуть бути використані для подальшого вдосконалення автоматизованих систем у цій галузі.

					<i>Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею</i>	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		95

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Роботизація та автоматизація – необхідність для агросектору в умовах дефіциту робочої сили [Електронний ресурс] // EastFruit. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://east-fruit.com/uk/plodoovochevyi-biznes/tehnologii-uk/robotyzatsiya-ta-avtomatyzatsiya-neobkhidnist-dlya-ahrosektoru-v-umovakh-defitsytu-robochoyi-sily/>.
2. Система моніторингу та контролю теплиць на основі Інтернету речей для розумного сільського господарства [Електронний ресурс] // Dusun. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dusuniot.com/uk/case-study/iot-greenhouse-monitoring-and-control-system-for-smart-agriculture/>.
3. Електронна карта полів. Як створювати і де використовувати? [Електронний ресурс] // SMART Farming – Режим доступу до ресурсу: <https://www.smartfarming.ua/elektronna-karta-poliv-yak-stvoryuvaty-i-de-vykorystovuvaty/>.
4. Strawberry Harvesting Robots [Електронний ресурс] // Dogtooth – Режим доступу до ресурсу: <https://dogtooth.tech/robots/>.
5. Аерофотозйомка [Електронний ресурс] // feica Geosystems – Режим доступу до ресурсу: <https://ngc.com.ua/ua/info/aerofotosyemka.html>.
6. Несенюк А. Штучний інтелект для вирощування курей та зерна. Агрохолдинги МХП, «Астарта» та Kernel випередили бум ШІ та вже роками мають власні розробки. Як це заощаджує компаніям мільйони доларів [Електронний ресурс] / Анастасія Несенюк // Forbes. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://forbes.ua/innovations/shtuchniy-intelekt-dlya-viroshchuvannya-kurey-ta-zerna-agroholdingi-mkhp-astarta-ta-kernel-viperedili-bum-shi-ta-vzhe-rokami-mayut-vlasni-rozrobki-yak-tse-zaoshchadzhue-kompaniyam-milyoni-dolariv-01032024-19576>.
7. Коваленко О. Прогнозоване агро. Як машинне навчання допомагає долати наслідки змін клімату [Електронний ресурс] / Олексій

					Розробка комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею	Аркуш
№	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		96

Коваленко // Speka. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://speka.media/ai/specialist-z-rozvitku-cifrovih-rishen-corteva-agriscience-oleksij-kovalenko-7v55qv>.

8. Piddubna A. Weather Monitoring Technologies to Save Crops from Mother Nature [Електронний ресурс] / Alina Piddubna // intellias. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://intellias.com/weather-monitoring-technologies-to-save-crops-from-mother-nature/>.

9. Панічев Р. Смартрішення крокують агросвітом [Електронний ресурс] / Ростислав Панічев // iFarming. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://ifarming.ua/itehnologii/selektsiya/smartrishennya-krokuyut-agrosvitom>.

10. Вербовий А. О. Огляд платформ на базі Arduino [Електронний ресурс] / А. О. Вербовий // Новітні інформаційно-комунікаційні технології в освіті. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5112/1/Verbovij.pdf>.

11. Огляд плат Arduino [Електронний ресурс] // Distancionka – Режим доступу до ресурсу: https://distancionka.com/ua/blog/arduino/obzor-plat-arduino/?srsltid=AfmBOorGG8nlVkhXDUfHRU6-I-3hm_bUR8j4o35y9UK1-4A-sx2XAlsB

12. Arduino Mega 2560 [Електронний ресурс] // Arduino – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560>.

13. Arduino Leonardo [Електронний ресурс] // Arduino – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Leonardo>.

14. Arduino Nano [Електронний ресурс] // Arduino – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano>.

15. Налаштування Arduino IDE для програмування WiFi модуля ESP8266 [Електронний ресурс] // Geekmatic. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://geekmatic.in.ua/ua/arduino_ide_with_wifi_esp8266.

16. Arduino ESP32 [Електронний ресурс] // espressif – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/installing.html>.

17. Призначення, структура і основні функції SCADA-систем [Електронний ресурс] // ТзОВ "ВОТУМ" – Режим доступу до ресурсу: <http://www.votum.ua/old/uk/publications/scada.htm>.

18. Що таке протокол Modbus і як він працює? [Електронний ресурс] // Dusun – Режим доступу до ресурсу: <https://dusuniot.com/uk/blog/what-is-the-modbus-protocol-and-how-does-it-work/>.

19. PROFIBUS [Електронний ресурс] // Siemens – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/promyslova-komunikatsiya/profibus.html>.

20. CAN-шина [Електронний ресурс] // Skyriver – Режим доступу до ресурсу: <https://skyfleet.com.ua/kontrol-paliva/can-shina/>.

21. Семенюк А. Чому OPC UA такий важливий [Електронний ресурс] / Анна Семенюк // Indusoft. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://indusoft.com.ua/blog/2022/05/18/chomu-opc-ua-takij-vazhlyvij/>.

22. Big Data in Smart Farming [Електронний ресурс] // Science Direct – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303754>.

23. Що таке Zigbee? Речі, які потрібно знати перед розробкою продуктів Zigbee у 2024 році [Електронний ресурс] // Dusun. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/what-is-zigbee/>.

Лістинг коду для МК Arduino Uno

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>

#define LED_PIN 6
#define RED_MOTOR_FWD 2
#define RED_MOTOR_BWD 3
#define PHOTO_RESISTOR A0
#define MOISTURE_SENSOR A1
#define IRRIGATION_MOTOR 5
#define TEMP_SENSOR A2
#define OUTDOOR_TEMP_SENSOR A4
#define VENTILATION_SERVO1 9
#define VENTILATION_SERVO2 A3
#define HEATING_PIN 12

LiquidCrystal lcd(13, 11, 10, 4, 8, 7);
Servo win, win2;

int photoValue = 0, ledBrightness = 0;
int moistureValue = 0, moisturePercent = 0;
int tempInside = 0, tempOutside = 0; int lightPercent = 0;
bool motorFlag = false, ventilationFlag = false,
heatingFlag = false;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PHOTO_RESISTOR, INPUT);
    pinMode(RED_MOTOR_FWD, OUTPUT);
    pinMode(RED_MOTOR_BWD, OUTPUT);

    pinMode(IRRIGATION_MOTOR, OUTPUT);
    pinMode(MOISTURE_SENSOR, INPUT);

    lcd.begin(16, 2);
    byte gradus[8] = {0b01100, 0b10010, 0b10010, 0b01100,
0b00000, 0b00000, 0b00000, 0b00000};
    lcd.createChar(2, gradus);

    pinMode(VENTILATION_SERVO1, OUTPUT);
    pinMode(VENTILATION_SERVO2, OUTPUT);
    pinMode(TEMP_SENSOR, INPUT);
    pinMode(OUTDOOR_TEMP_SENSOR, INPUT);
    pinMode(HEATING_PIN, OUTPUT);

    win.attach(VENTILATION_SERVO1);
```

```

win2.attach(VENTILATION_SERVO2);
win.write(0);
win2.write(0);
}

void loop() {
  readSensors();
  manageLighting();
  manageIrrigation();
  manageVentilationHeating();
  displayData();
  delay(1000);
}

void readSensors() {
  // Temperature readings
  tempInside = map(analogRead(TEMP_SENSOR), 20, 358, -40,
125);
  tempInside = constrain(tempInside, -40, 125);

  tempOutside = map(analogRead(OUTDOOR_TEMP_SENSOR), 20,
358, -40, 125);
  tempOutside = constrain(tempOutside, -40, 125);
}

void manageLighting() {
  photoValue = analogRead(PHOTO_RESISTOR);
  ledBrightness = map(photoValue, 713, 1022, 0, 255);
  ledBrightness = constrain(ledBrightness, 0, 255);
  analogWrite(LED_PIN, ledBrightness);

  lightPercent = map(photoValue, 713, 1022, 100, 0);

  Serial.print("Light level: ");
  Serial.print(lightPercent);
  Serial.println(" %");

  if (lightPercent > 80 || tempInside > 30 || tempInside <
18) {
    if (!motorFlag) {
      digitalWrite(RED_MOTOR_BWD, HIGH);
      delay(900);
      digitalWrite(RED_MOTOR_BWD, LOW);
      motorFlag = true;
      Serial.print("Flag variable: ");
      Serial.println(motorFlag);
    }
  } else if (tempInside > 18 && tempInside < 30 &&
lightPercent < 70) {
    if (motorFlag) {
      digitalWrite(RED_MOTOR_FWD, HIGH);
      delay(900);
      digitalWrite(RED_MOTOR_FWD, LOW);
    }
  }
}

```

```

        motorFlag = false;
        Serial.print("Flag variable: ");
        Serial.println(motorFlag);
    }
}

void manageIrrigation() {
    moistureValue = analogRead(MOISTURE_SENSOR);
    moisturePercent = map(moistureValue, 0, 876, 0, 100);
    moisturePercent = constrain(moisturePercent, 0, 100);

    Serial.print("Humidity level: ");
    Serial.print(moisturePercent);
    Serial.println(" %");

    digitalWrite(IRRIGATION_MOTOR, moisturePercent < 70 ?
HIGH : LOW);
}

void manageVentilationHeating() {
    if (tempInside > 30 && tempOutside < 30) {
        if (!ventilationFlag) {
            win.write(90);
            win2.write(90);
            delay(1000);
            win.write(180);
            win2.write(180);
            ventilationFlag = true;
        } else if (heatingFlag) {
            digitalWrite(HEATING_PIN, LOW);
            heatingFlag = false;
        }
    } else if (tempInside < 18 && tempOutside < 18) {
        if (ventilationFlag) {
            win.write(90);
            win2.write(90);
            delay(1000);
            win.write(0);
            win2.write(0);
            ventilationFlag = false;
        }
        if (!heatingFlag) {
            digitalWrite(HEATING_PIN, HIGH);
            heatingFlag = true;
        }
    } else if (tempInside < 18 && tempOutside > 18 &&
!heatingFlag) {
        if (!ventilationFlag) {
            win.write(90);
            win2.write(90);
            delay(1000);
            win.write(180);

```

```

        win2.write(180);
        ventilationFlag = true;
    }
    digitalWrite(HEATING_PIN, HIGH);
    heatingFlag = true;
}
}

void displayData() {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Temperature:");
    lcd.print(tempInside);
    lcd.write(byte(2));
    lcd.print("C");

    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("Humidity: ");
    lcd.print(moisturePercent);
    lcd.print("%");
    delay(1500);

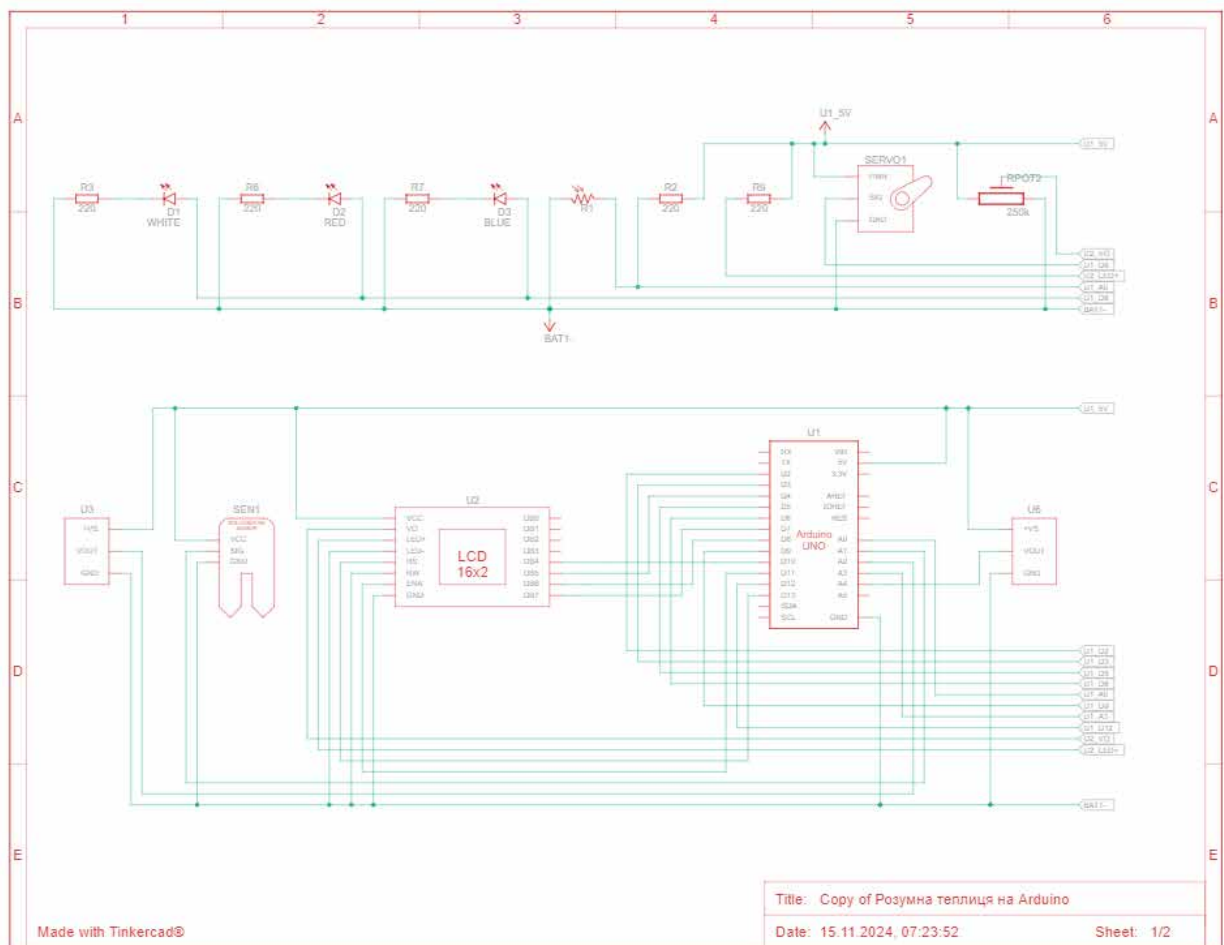
    for (int i=0; i<40; i++){
        delay(100);
        lcd.scrollDisplayLeft();
        delay(100);
    }
    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("  Light Level");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print(lightPercent);
    lcd.print("%");
    delay(1000);

    for (int i=0; i<40; i++){
        delay(100);
        lcd.scrollDisplayLeft();
        delay(100);
    }
    lcd.clear();
}
}

```

Електронна схема комп'ютерно інтегрованої системи управління теплицею(перший і другий лист)



Продовження додатку Б

