

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів -
АЕМК

«На правах рукопису»
УДК 681.515+62-551.453

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри АЕМК
_____ С. В. Бойченко
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

Спеціальність 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма –
за темою: «Оптимізація мехатронної системи керування
промисловою теплицею»

Виконав:

Студент II курсу, групи ОА-11мп Колос Тимофій Сергійович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник старший викладач, Майданський Іван Ярославович _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант «Розроблення стартап-проєкту» к.т.н., доц. Шевчук Н.А. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтролер к.т.н., доц. Кулаковський Л.Я. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент Колос Тимофій Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Київ – 2022 року

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів - АЕМК
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка («Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію

студенту Колосу Тимофію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Тема дисертації «Оптимізація мехатронної системи керування
промисловою теплицею».

науковий керівник дисертації Майданський Іван Ярославович, ст. викл.,
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від « 13 » березня 2022 р. № 858-с

1. Дата подання студентом дисертації « 16 » грудня 2022 р.
2. Об'єкт дослідження – автономна теплиця.
3. Предмет дослідження – автономна теплиця та фактори впливу на ріст культури в них, розробка автономної системи на основі датчиків та блоків керування.
4. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 1. Опис та аналіз факторів впливу на клімат в теплицях. Розрахунок мікроклімату. Види теплиць.
 2. Розробити і дослідити систему управління на основі мікроконтролера ATmega328 та можливість застосування його в системі управління.
 3. Зробити аналіз стартап можливості для цього проекту.
5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу: 20-25 слайдів презентації.
6. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	<u>к.т.н., доц. Шевчук Н.А</u>		

7. Дата видачі завдання: « 1 » вересня 2022 р.

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд та аналіз сучасних методів розрахунку мікроклімату в теплицях	12.11.2022	
2.	Вибір датчиків та їх розрахунок . Моделювання електричної схеми теплиці	22.11.2022	
3.	Розробка стратегії стартап-проекту	25.11.2022	
4.	Моделювання та оцінка автономної системи	05.12.2022	
5.	Підготовка аналізу та узагальнень результатів досліджень	08.12.2022	
6.	Отримання відгуку та рецензії на магістерську дисертацію	10.12.2022	
7.	Підготовка презентаційного матеріалу	10.12.2022	
8.	Подання магістерської дисертації до екзаменаційної комісії. Захист	16.12.2022	

Студент _____ Тимофій КОЛОС
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ Іван МАЙДАНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Анотація

Магістерська дисертація включає в себе: вступ, три етапи виконання, висновок та списов використаної літератури

Дисертація спрямована на розробку автоматичної системи керування теплицею з можливістю налаштування мікроклімату теплиці з врахуванням регіону.

Реалізовано автоматичну систему керування клімату теплиці на основі мікроконтролера ATmega328, датчиків, та інших модулів системи. Також впроваджено технологію віддаленого керування системою. Для кожного типу теплиць та різних наявних показників клімату вираховується методом ЕТ.

Метою дисертаційного проекту — модернізація системи автономного керування мікроклімату теплиці

Об'єкт дослідження — автоматизація керування кліматом теплиці

Предмет дослідження — електронні компоненти керування кліматом теплиці

Методи дослідження — розрахунок оптимального мікроклімату теплиці на основі методів ЕТ з врахуванням типу теплиці.

Ключові слова: Моделі евапотранспірації, сонячна радіація, підключення датчиків до мікроконтролера.

Annotation

The master's thesis includes: introduction, three stages of implementation, conclusion and lists of used literature.

The dissertation is aimed at the development of an automatic greenhouse control system with the ability to adjust the microclimate of the greenhouse taking into account the region.

An automatic greenhouse climate control system based on an ATmega328 microcontroller, sensors and other system modules has been implemented. The technology of remote control of the system has also been implemented. For each type of heat and various available indicators, the climate is calculated by the ET method.

The aim of the dissertation project is to modernize the system of autonomous control of the greenhouse microclimate

The object of research is automation of greenhouse climate control

The subject of research is electronic components of greenhouse climate control

Research methods — calculation of the optimal greenhouse microclimate based on ET methods, taking into account the type of greenhouse.

Keywords: models of evapotranspiration, solar radiation, connection of sensors to a microcontroller.

Назва поля	Пояснення щодо заповнення
Автори	Колос Тимофій Сергійович
Науковий керівник	Майданський Іван Ярославович
Назва	<u>Оптимізація мехатронної системи керування промисловою теплицею</u>
Дата публікації	2022 рік
Місце видання	Київ
Кількість сторінок	81 с.
Бібліографічний опис	Магістерська дисертація: Колос Т.С. Оптимізація мехатронної системи керування промисловою теплицею: магістерська дисертація. :141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Колос Тимофій Сергійович. - Київ, 2022. 81 с.
Вид документа	Магістерська дисертація
Ключові слова	Моделі евапотранспірації
	Сонячна радіація
	Підключення датчиків до мікроконтролера
Анотація (укр.)	В магістерській дисертації розроблено автоматичну систему керування клімату теплиці на основі мікроконтролера ATmega328, датчиків, та інших модулів системи. Також впроваджено технологію віддаленого керування системою. Для кожного типу теплиць та різних наявних показників клімату вираховується методом ET.
Анотація (англ.)	The master's thesis developed an automatic greenhouse climate control system based on an ATmega328 microcontroller, sensors, and other system modules. The technology of remote control of the system has also been implemented. For each type of greenhouse and various available climate indicators, the ET method is calculated.
Анотація (рос.)	В магистерской диссертации разработана автоматическая система управления климата теплицы на основе микроконтроллера ATmega328, датчиков и других модулей системы. Также внедрена технология удаленного управления системой. Для каждого типа теплиц и различных показателей климата высчитывается методом ЭТ.
УДК	УДК 681.515+62-551.453

Зміст

Вступ.....	6
1. Фактори впливу на розвиток рослини. Сонячна радіація, фотосинтез. Евапотранспірація, опис та методи розрахунку. Типи теплиць.....	9
1.1. Вступ до розділу.....	9
1.2. Сонячна радіація та штучне світло в промислових теплицях.....	9
1.2.1 Сонячне випромінювання та роль фотосинтеза у житті рослин...	10
1.2.2 Штучне випромінювання.....	13
1.3. Евапотранспірація.....	15
1.3.1 Випаровування з ґрунту та рослин.....	15
1.3.2 Потенційне випаровування.....	16
1.3.3 Еталонна евапотранспірація.....	17
1.3.4 Фактична евапотранспірація.....	18
1.3.5 Теплообмін.....	18
1.3.6 Паровий баланс.....	20
1.4. Типи теплиць.....	20
1.4.1 Низькотехнологічні теплиці.....	22
1.4.2 Середньотехнологічні теплиці.....	23
1.4.3 Високотехнологічні теплиці.....	23
1.5. Моделі евапотранспірації в теплиці.....	24
1.5.1 Модель FAO Penman.....	25
1.5.2 Модель Hargreaves.....	26
1.5.3 Екранна модель Пенмана-Монтейта.....	26
1.6. Висновок.....	31
2. Розробка прототипу на основі мікроконтролера і датчиків для моніторингу для керування параметрами теплиці.....	32
2.1. Вступ.....	32
2.1.1 Конструкція обладнання.....	32
2.2. Датчики.....	33
2.2.1 Модуль датчика DHT11.....	34
2.2.2 Теорія функціонування датчика вологості.....	36
2.2.3 Теорія функціонування датчика температури.....	37
2.2.4 Датчик LDR.....	38
2.2.5 Теорія функціонування датчика LDR.....	39
2.2.6 Особливості датчика LDR.....	39

2.3. Блоки обробки та зчитування даних.....	41
2.3.1 Чіп мікроконтролера ATmega328.....	41
2.3.2 Внутрішня архітектура мікроконтролера ATmega328.....	43
2.4. Блок бездротового зв'язку.....	44
2.4.1 Телефонна система мобільного зв'язку.....	44
2.4.2 Модуль GSM SIM800L.....	45
2.4.3 Модуль Bluetooth HC05.....	47
2.5. Приводний блок.....	48
2.5.1 Релейний модуль.....	48
2.5.2 Приводи.....	50
2.6. Схематичне підключення датчиків до мікроконтролера.....	51
2.6.1 Інтерфейс GSM SIM800L.....	53
2.6.2 Інтерфейс датчика DHT11 до мікроконтролера ATmega328.....	54
2.6.3 Інтерфейс датчика LDR до мікроконтролера ATmega328.....	55
2.6.4 Інтерфейс релеяного модуля до мікроконтролера ATmega328.....	56
2.7. Висновок до розділу.....	57
3. Стартап проект.....	58
3.1. Розробка стартап проекту.....	58
3.2. Опис ідеї розробленої системи теплиці.....	58
3.3. Аналіз ринку, можливість втілення проекту.....	61
3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	69
Висновок.....	77
Список використаної літератури.....	78

Вступ

В побуті завжди є потреба вживати їжу, тому постійно є актуальним вирощувати рослинні культури. Але без певного обладнання робота обслуговування (догляд) за процесів вирощування дуже важка. Тому в суспільстві постійно знаходять та модернізують інструменти, які полегшують фізичну працю. Одним з цих інструментів є теплиці.

Теплиці, як інструмент вирішують велику кількість роботи, що забезпечує отримати найкращий очікуваний результат. З часом були спроектовані автоматизовані теплиці, в яких присутня велика кількість різного функціоналу. Саме:

- автоматичний контроль клімату (вологість, температура, додаткове освітлення, провітрювання та ін.) в теплиці
- налаштування мікроклімату під певний вид рослини
- дистанційне інформування та керування системою

Ціль цих систем є отримати кращий врожай культури аніж вирощування їх із зовнішнім кліматом. Причиною отримання низького врожаю є зовнішні фактори, які впливають на культуру(якщо не враховувати біологію/гени рослини). Це:

- Низька, або значно висока температура
- недостатня кількість води в ґрунті, в повітрі; або перенасичення
- недостатня кількість сонячної радіації; або перенасичення
- шкідники комахи або тварини
- рослинні хвороби
- сусідство з іншими небажаними рослинами
- недостатня кількість мінералів в ґрунті
- та ін.

Ці всі фактори можуть бути перешкодою для росту рослини та отримання врожаю. Тому теплиці застосовуються, щоб запобігти дії цих факторів.

Проект є модернізацією існуючих теплиць, завданням якого є покращення процесу управління системою та врахування можливих додаткових факторів, які не враховувалися раніше. Розглянуто кліматичні фактори впливу як спектр поглинання сонячної радіації рослиною, роль фотосинтезу, розрахунок різними методами евапотранспірації, що включає себе фактори радіація на поверхні культури, щільність теплового потоку ґрунту, швидкість вітру, тиск водяної пари, температура повітря в різний добовий час та інші. Розглянуто найвідоміші існуючі методи розрахунку ET при врахуванні типу та регіону теплиці. Відмінності між цими методами та їх плюси та мінуси в застосуванні

В другій частині роботи вибрані компоненти та спроектована схематична схема їх взаємозв'язків. Також описано природу поведінки кожного модуля і підключення їх до системи.

В кінці роботи було проведено аналіз, саме розглянуто актуальність системи при втіленні, конкуренція на ринку, можливі проблеми, які можуть виникнути під час реалізації проекту та інші чинники. Оцінка потенціалу цієї роботи на основі існуючих аналогових систем та інші показники.

1. Фактори впливу на розвиток рослини. Сонячна радіація, фотосинтез. Евапотранспірація, опис та методи розрахунку. Типи теплиць

1.1. Вступ до розділу

В цьому розділі розглянуто теоретичну частину факторів впливу на рослинні культури. Саме Фотосинтез та його процес. Сонячне випромінювання та його вплив на життя рослин. Світлодіоди, як заміник найкращого оптимального спектру випромінювання на рослинні культури. Термін евапортації, який є одним із головних факторів для росту рослин, його методи, чинники з яких він складається та типи теплиць.

1.2. Сонячна радіація та штучне світло в промислових теплицях

Сонячне випромінювання — потік електромагнітних хвиль в певному діапазоні. Цей діапазон складається з видимого світла, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. Світло є частиною однієї з потреб рослин, частина процесу фотосинтезу.

Взаємодія покриття теплиці з прямою та розсіяною сонячною радіацією визначає, скільки радіації пропускається та доступне на рівні культури. Це можна визначити за оптичними законами відбивання, поглинання та пропускання матеріалу покриття теплиці. Для цього необхідно знати оптичні конструкції, кут вхідного випромінювання та геометрію конструкції. Для прямої складової сонячної радіації розрізняє кут, що впливає з положення Сонця, визначеного часом, датою та широтою спостережуваної теплиці, а також орієнтацією та геометрією поверхонь.

1.2.1 Сонячне випромінювання та роль фотосинтезу у житті рослин

Розглянемо спектр світла необхідний для рослин.

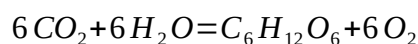
Сонячне випромінювання можна розділити на пряме випромінювання, яке походить від сонця, і дифузне випромінювання, яке розсіюється в атмосфері хмарами. Потік сонячної енергії на рівні Землі знаходиться в діапазоні довжин хвиль від 300 до 2500 нм. Для росту рослин довжина хвилі інтересу становить від 400 до 700 нм. Ця область спектра називається фотосинтетичним активним випромінюванням (ФАР). Лише невелика частина енергії ФАР поглинається культурою та безпосередньо перетворюється на процес фотосинтезу, тоді як інша частина перетворюється на тепло.

Процеси фотосинтезу та сонячного поглинання рослиною тісно пов'язні, тому розглянемо ці два фактори разом.

Розглянемо етапи фотосинтезу

Що таке фотосинтез? Це процес перетворення в рослині вуглекислого газу та органічної суміші(води з мінералами) з впливом сонячної енергії та участю органел хлоропластів на перетворення(отримання) глюкози та кисню.

Хімічна реакція фотосинтезу має вигляд



Вуглекислий газ + вода = глюкоза + кисень

1. CO_2 (вуглекислий газ) та H_2O (вода) потрапляють в лист рослини.
2. Світло потрапляє на пігмент в мембрані тилакоїду, розщеплює воду H_2O в O_2 та вивільнення електронів у формі водню (H).
3. Ці електрони рухаються вниз по шляхам до ферментів, які є спеціальними білковими молекулами, що каталізують або прискорюють біологічні реакції.
4. Сонячне світло вражає другу молекулу пігменту, дозволяючи ферментам перетворювати АДФ в АТФ і НАДФ

5. АТФ і НАДФН використовуються в Циклі Кальвіна, як джерело енергії для перетворення більшої кількості CO₂ з атмосфери в глюкозу.

Сонячне світло застосовується в перших чотирьох етапів

Частоти поглинання пов'язані з характеристикою поглинання різних пігментів, які наявні в органелах, названих хлоропластами, що відповідають за різні функції фотосинтезу. Більшість цих пігментів поглинають світло з відповідними довжинами хвиль синього та червоного кольорів. Ось чому більшість листя виглядає зеленим, оскільки ці довжини хвиль (не повністю) не поглинаються, а відбиваються.

Найпоширенішими пігментами є

- хлорофіл А
- хлорофіл В
- каротиноїди

Графік фотосинтетичних пігментів та рецепторів світла(див. рис.2.1) Залежність абсорбенту пігментів від довжини світла. Де:

Таблиця 1.1

Салатовий колір	Хлорофіл А
Зелений колір	Хлорофіл Б
Помаранчевий	каротиноїди
Синій	фітохроми
Чорний	Діапазон ФАР(PAR)

ФАР(PAR) - фотосинтетичне активне випромінювання (photosynthetic active radiation)

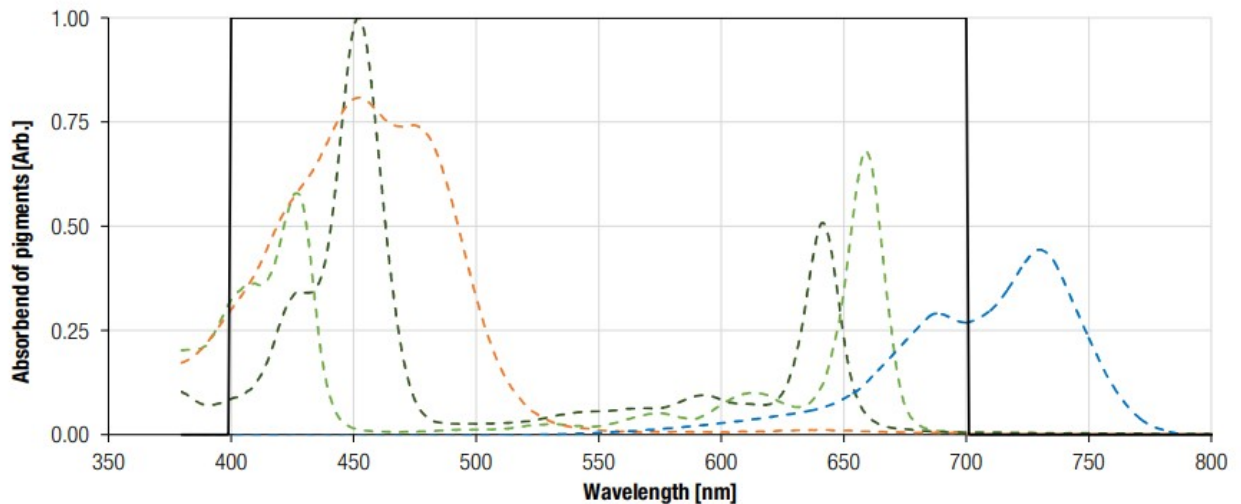


Рис. 1.1 Графік фотосинтетичних пігментів та рецепторів світла

Хлорофіл А є основним фотопігментом, на який припадає близько 75 % фотосинтетичної активності і має піки поглинання близько ~435 нм та ~675 нм.

Хлорофіл Б, який колись вважався допоміжним фотопігментом, розширює діапазон довжин хвиль, які можна використовувати для фотосинтезу з піками поглинання при ~460 нм та ~640 нм. Енергія з цих довжин хвиль сприймається хлорофілом Б перед тим, як передати її хлорофілу А через електронний спіновий резонанс. Всі рослини мають обоє цих пігментів, що пояснює їхній зелений колір.

Каротиноїди мають порівняно набагато ширший діапазон поглинання за довжиною хвилі, ніж хлорофіли, Діапазон поглинання від ~400 нм до ~510 нм. Окрім допоміжної функції поглинання світла, вони мають набагато важливішу роль. А саме захист хлорофілів від фотоокислення при надлишкової інтенсивності світла . Тобто в діапазонах з низькою довжиною хвилі (з більшою енергією). Ось чому довжини хвилі поглинання

каротиноїдів збігається з хлорофілами. Крім того, фітохром є фоторецепторами (світлові

датчики), які регулюють на численні процеси, наприклад синтез хлорофілу. Незважаючи на поглинання довжини хвиль, вони

пролягають переважно за межами області PAR, де мають вирішальне значення для розвитку рослин. Оскільки рослини нерухомі, Бог дав їм властивість реагувати на різні частоти та інтенсивність світла. Які залежать від факторів погоди, тіні, часу дня та інших.

Таким чином, штучне світло може бути заміником необхідного спектру різних довжин хвиль для маніпулювання в різних стадіях росту та розвитку рослини.

Від цих реакцій залежить швидкість фотосинтезу, фотоморфогенез (анатомія рослини), фототропізм (напрямок росту) і фотонастійність (направлений зріст) . Також впливає на зміну та направлення відкриття квітки, що залежать від великої кількості фоторецепторів і можуть бути специфічними для різних видів, сімейств і родів рослин

1.2.2 Штучне випромінювання

Світлодіоди — діоди, що генерують світло, при проходженні через них оптимального струму в правильному напрямі замкнутого кола. Найбільше застосовуються в побуті за рахунок їхніх переваг порівняно з лампами розжарювання, люмінесцентними лампами, натрієвими лампами високого тиску та ртутними лампами. Головна перевага полягає в їхній здатності генерувати певну довжину хвилі світла. Аналізуючи вище вказану інформацію,

рослини використовують лише обмежений діапазон довжин хвиль і мають різні вимоги на різних частотах. Це було б дуже неефективно споживати електроенергію, генеруючи хвилі світла, які система не буде використовувати.

Тому виробники зазвичай зосереджуються на світлодіодах з довжиною хвилі 660 нм (червоний) і 450 нм (синій). Зазвичай у приблизному співвідношенні 2:1. Проте останні дослідження виявили вплив довжин хвиль білого світла, яке відрізняється від звичайного червоного та синього.

Червоне світло (630 – 660 нм) є основним двигуном фотосинтезу та необхідним для росту стебла. Ця довжина хвилі також регулює цвітіння, стан спокою та проростання насіння.

Синє світло (400–520 нм) є ще однією ключовою довжиною хвилі для фотосинтезу, але його потрібно ретельно контролювати і в пов'язувати з іншими частотами, оскільки надмірне опромінення на цій довжині хвилі може загальмувати ріст. Ця довжина хвилі

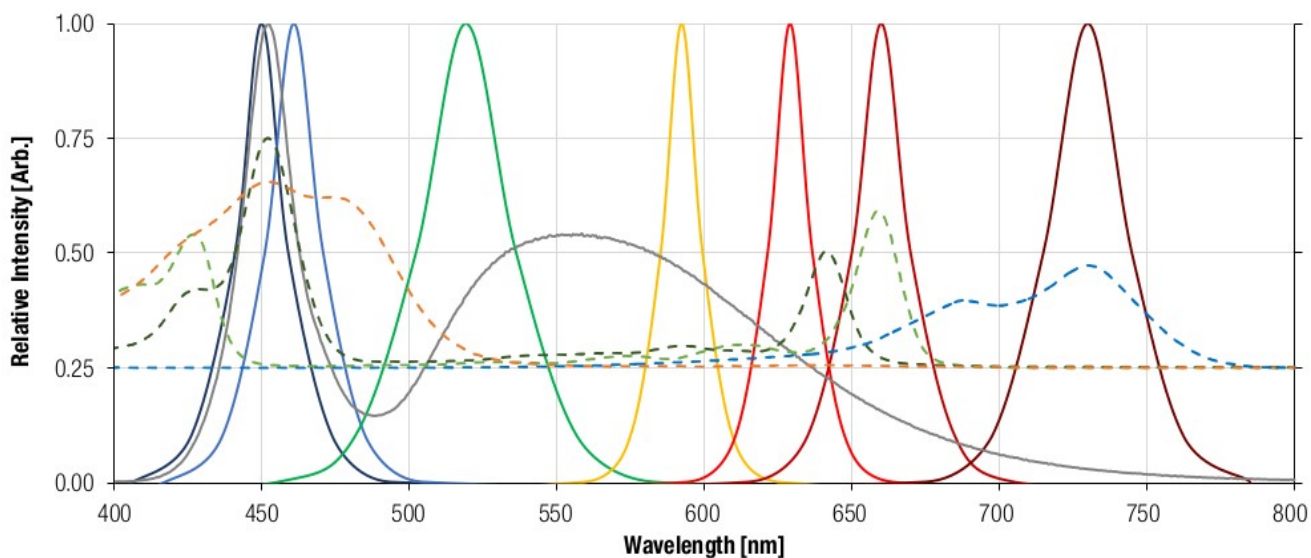
також пов'язує з регуляцією концентрації хлорофілу, росту бічних бруньків та товщини листя.

Коричнєве(темно-червоне) світло (720 – 740 нм), яке знаходиться в цьому спектрі, впливає на стабільний ріст та допомагає зменшити час цвітіння рослин, але також збільшує довжину та ширину стебла та вплив на появи/знаходження рослини в тіні.

Зелене світло (500 – 600 нм) – є важливим для розвитку рослин. Останнім часом були дослідження, які показали, що рослини в тіні особливо чутливі до цієї довжини хвилі.

Ультрафіолетове світло (280 – 400 нм) Цей спектр світла є експериментальним у вирощуванні рослин. При цьому ця довжина хвилі є мутагенним. Деякі рослини (наприклад, салат, помідори) набагато більш стійкі до цих довжин хвиль. Дослідження показують, що ці довжини хвиль можна використовувати для боротьби з пліснявою(грибком), які не сприятливі до цього спектру світла.

Рис. 1.2 Графік Спектри випромінювання світлодіодів WL-SMDC, накладені на спектри поглинання фотосинтетичних пігментів



Синій (450 nm), голубий (460 nm), Зелений (520 nm), Жовтий (590 nm) Червоний (625 nm), бордовий (660 nm), коричневий (730 nm), сірий — природне світло(WL-SWTC)

Лінії з штрихами: салатовий - Хлорофіл А, зелений - Хлорофіл Б, помаранчевий - Каротиноїди, синій — фітохроми

1.3. Евапотранспірація

Евапотранспірація (ЕТ) - це процес, який повертає воду в атмосферу з певної поверхні. Швидкість і кількість ЕТ є основною інформацією, необхідною для розробки іригаційних проектів, а також важливою для управління якістю води та іншими екологічними проблемами. ЕТ можна розділити на два підпроцеси: випаровування та транспірацію. Випаровування відбувається на відкритих поверхнях з водою, таких як водойми, калюжі, або з рослин, ґрунту та поверхні землі. У інших випадках транспірація передбачає поглинання води з ґрунту корінням рослин, транспортування води через рослину до листя та випаровування води з внутрішньої частини листка на поверхню

1.3.1 Випаровування з ґрунту та рослин

Випаровування та транспірація відбуваються одночасно, і немає простого способу відрізнити ці два процеси. Фактор випаровування з ґрунту в основному визначається часткою сонячної радіації, що досягає поверхні ґрунту, крім температури, швидкості вітру та

градієнтів парового тиску. Коли культура починає розвиватися, частка сонячної радіації зменшується, оскільки полог затінює поверхню ґрунту. Коли рослина ще мала, вода переважно втрачається через випаровування ґрунту, але як тільки рослина набуде оптимальний ріст та вкриє ґрунт, основним процесом є транспірація. Таким чином, процес ЕТ залежить від етапів культури, де ранні стадії (посів) ЕТ походять від випаровування, транспірацію як втрату води рослинами у формі пари.

Поглинання води відбувається через продихи (капіляри), які є невеликими отворами на листі рослини. Випаровування відбувається, коли вода та деякі поживні речовини поглинаються корінням і транспортуються через рослину до міжклітинних просторів листя. Тут парообмін з атмосферою контролюється отворами продихів. Коли частина води випаровується з продихів, більше води переміщується в простір рослини, щоб компенсувати втрату. Процес випаровування ініціює витяг води з коренів через ксилему (рослинну тканину, яка транспортує воду до листя) і з листя. Як і випаровування, транспірація також залежить від сонячної радіації, температури, вітру та градієнта тиску пари. На швидкість транспірації також впливають характеристики врожаю, екологічні аспекти та методи вирощування. Різні види рослин можуть мати різну швидкість транспірації.

1.3.2 Потенційне випаровування

Потенційна евапотранспірація або ПЕ є мірою здатності атмосфери видаляти воду з поверхні через процеси випаровування та транспірації без контролю над водопостачанням. ПЕ є складним процесом, оскільки швидкість втрати водяної пари залежить від багатьох факторів, таких як кількість сонячної радіації, що досягає поверхні, сила вітру, отвір продихів, вміст води в ґрунті, тип ґрунту та тип рослини.

Усвідомлюючи це, більшість дослідників намагалися видалити всі невідомі, такі як отвір продихів, вміст води в ґрунті, і зосередитися

лише на кліматичних факторах, щоб спростити ситуацію. Спрощений розрахунок отримав також назву ПЕ.

Одним із прикладів спрощеного розрахунку був визначений Пенманом, як кількість води, що виділяється за одиницю часу низькорослим зеленим урожаєм, який повністю затінює землю, однаковим ростом та бракує випаровування води. Умови, визначені Пенманом, теоретично забезпечують максимальну швидкість ПЕ на основі лише даних кліматичних умов.

1.3.3 Еталонна евапотранспірація

Евапотранспірація контрольної культури, ETo це швидкість ЕТ від еталонної поверхні гіпотетичної еталонної трави з певними характеристиками. Передбачається, що посіви добре злиті з повним покриттям.

Крім того, ETo — кліматичний параметр, що виражає випаровувальну здатність атмосфери. Для розрахунку ЕТ рекомендується використовувати метод Пенмана-Монтейта(рівняння 1):

$$\lambda E_T = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (1.1)$$

де λ — прихована теплота випаровування, Δ — нахил залежності тиску пари від температури, R_n - є чистою радіацією, ρ_a – густина повітря, c_p — питома теплоємність сухого повітря, e_s - тиск насиченої пари, e_a — фактичний тиск пари повітря, r_a — аеродинамічний опір, r_s — опір об'ємної поверхні, γ – психомоторна константа.

У тепличному вирощуванні транспірація культур є найважливішим механізмом розсіювання енергії, який впливає на швидкість ЕТ. ЕТ у

теплиці включає енергетичний баланс сумарної радіації від сонця, передачу тепла та пари від навісу. Більшість фізичних моделей, заснованих на енергетичних балансах, як правило, забезпечують більш повну оцінку транспірації. Важливими частинами теплиці, які впливають на енергетичний баланс, є покриття теплиці, повітря в теплиці, урожай і ґрунт.

1.3.4 Фактична евапотранспірація

Фактична евапотранспірація, ФЕ – це кількість води, яка фактично видаляється з поверхні внаслідок процесу випаровування та транспірації. Це показник ЕТ, де його значення цікавить усіх дослідників. ФЕ також відомий як обрізка евапотранспірації, ЕТв. ЕТв це ЕТ від нормальних добре висаджених культур. Втрата води від ЕТ — це кількість води, необхідна для культури. ЕТв можна знайти шляхом множення ЕТо з коефіцієнтами врожаю (Кв). Кв– це значення ЕТ для конкретної культури, яке включає характеристики культури та усереднені ефекти випаровування з ґрунту

1.3.5 Теплообмін

Зміщення енергії потоку з одного місця в інше або зміщення від поверхні до текучого середовища або навпаки - називається конвекцією. Обмін повітря теплиці з внутрішніми поверхнями. Саме різні покриття, культура, труби опалення та поверхня ґрунту, відбувається за допомогою конвекції. Цей же механізм діє і для обміну між зовнішньою поверхнею теплиці та навколишнім повітрям. Конвективні передачі тепла визначають значну частину мікроклімату всередині теплиці.

Покриття теплиці обмінює енергію між внутрішньою поверхнею з повітрям теплиці та зовнішнім повітрям середовища. Очікується природна конвекція всередині теплиці між невеликою внутрішньою швидкістю повітря, спричинені наявними перепадами температур, тоді

як поза теплицею очікується вимушена конвекція через локальні швидкості повітря, створювані погодою.

Конвективний теплообмін визначається формулою:

$$q_{cnv} = \alpha_c \cdot A_c (T_a - T_c) \quad (1.2)$$

Де T_a і T_c – температура навколишнього повітря та поверхні покриття (K), A_c – площа поверхні та α_c – коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

Коефіцієнт теплопередачі залежить від властивостей рідини та параметрів системи для конкретної геометрії кришки.

Вирощування рослин є основною причиною перебування сонячної енергії при вирощуванні в теплицях. При поглинанні частинно ця енергія перетворюється на приховану та відчутну теплоту. Це приховане та відчутне тепло транспортується до теплиці за допомогою конвекції. Таким чином, енергетичний баланс культури складається з поглинання сонячного випромінювання, зокрема фотосинтетичного активного випромінювання (ФАР), обміну чутливим і прихованим теплом і теплового радіаційного обміну з різними частинами теплиці.

Для регульованої теплиці з трубами опалення теплообмін між трубами та повітрям також відбувається за допомогою конвекції. Важливими критеріями, що визначають конвективний обмін, є довжина і діаметр труби. В енергетичному балансі різних частин теплиці обмін із ґрунтом має незначне значення через відносно невеликі вимірювання на щоденній основі. Проте поверхня ґрунту обмінюється тепловим випромінюванням з іншими компонентами теплиці.

Додатково ультра-фіолетове світло може відповідати за утворення певних захисних молекул, таких як антиоксиданти та феноли, які важливі для харчування людини.

Однак слід пам'ятати, що кожен тип рослин по-різному реагує на різні комбінації довжини світлової хвилі та їхню інтенсивність. Крім

цього, різні фізичні характеристики (оптимальні умови для росту) відрізняються від різних типів рослин.

1.3.6 Паровий баланс

У теплиці транспірація рослин є основним джерелом випаровування, крім випаровування з вологої поверхні. Видалення пари відбувається як через конденсацію, так і через вентиляцію, тому виконується наступне рівняння балансу:

$$E - C - V = 0 \quad (1.3)$$

Де E – транспірація врожаю, C і V – пара, видалена шляхом конденсації та вентиляції відповідно. Кількість водяної пари, що міститься в повітрі, багато в чому залежить від температури повітря в теплиці. Відносна вологість і дефіцит тиску пари кількісно визначають «силу сушіння» повітря, тобто кількість пари, яку здатне поглинути повітря при даній температурі. Температура, коли пара починає насичуватися, називається точкою роси, яка також є показником вологості.

1.4. Типи теплиць

Різниця між типами теплиць багато в чому залежать від їхньої конструкції, методу будівництва, матеріалів, приміщень і обладнання, виготовлених для теплиці. У Центральній і Північній Європі більшість теплиць покриті склом, а в інших країнах з теплим кліматом більшість теплиць покриті пластиковою плівкою. У всьому світі найбільш поширені теплиці з пластикової плівки – це більше, ніж скляні теплиці, які були охоче прийняті на всіх п'яти континентах, особливо в Середземноморському регіоні, Китаї та Японії

Поширені типи теплиць типу Венло, широкопролітні, пластикові і арокні. Форма конструкції теплиці впливає на внутрішній клімат тепличного середовища, особливо на температуру, вологість і

світлопроникність. Форми, які найчастіше з'являються, — це двосхилий або скатний дах, зубчастий або односхилий дах, круглий арочний тунель, кругла арка з вертикальною боковою стінкою, загострена арка з похилою боковою стінкою та загострена арка з вертикальною боковою стінкою. Конструкційними матеріалами для теплиць є дерево, сталь, алюміній, а деякі навіть мають комбінації цих матеріалів. Для облицювання зазвичай використовуються скло, синтетичні панелі, які також називають жорсткими пластиками, і пластикова плівка.

Обладнання та обладнання, що використовуються всередині теплиці, можуть класифікувати теплицю як теплицю з контрольованим середовищем чи ні. Це обладнання включає обладнання для опалення, вентиляції та охолодження, екрани, вуглекислий газ (CO_2) для його збільшення та додаткове освітлення.

Опалювальне обладнання необхідне в теплиці, коли низькі температури всередині теплиці занадто низькі для вирощування сільськогосподарських культур. Система опалення забезпечить теплову енергію для підтримки оптимальної температури в теплиці. Вентиляція і охолодження найбільш необхідні, коли температура і вологість всередині теплиці високі.

Існують два типи вентиляції: через природну або примусову вентиляцію. Природна вентиляція здійснюється за допомогою вітру через вентиляційні віконні отвори, тоді як примусова вентиляція використовує вентилятори як джерело вітру. Системи охолодження забезпечуються або прямим випарним охолодженням, або непрямим випарним охолодженням. Системи прямого випарного охолодження засновані на принципі охолодження теплиці за рахунок випаровування води. Загальним обладнанням є вентилятор і охолодження, охолодження водним туманом і охолодження стелі. Система, яка поєднує випарне охолодження та механічне охолодження (видалення видимого та прихованого тепла), називається непрямим випарним охолодженням. Екрани використовуються для затемнення та

затемнення для економії енергії та контролю навколишнього середовища. Залежно від матеріалів екрана,

Постачання додаткової CO₂ застосовується для підвищення врожайності тепличних культур. Ця додаткова подача може бути досягнута шляхом подачі чистого рідкого CO₂ або спалювання викопного палива за допомогою малих пальників у теплиці. З іншого боку, додаткове освітлення в теплиці використовується для доповнення денного світла в теплиці для підвищення рівня освітлення для фотосинтезу. Це застосування також може збільшити тривалість дня для росту культур, особливо для першої фази вирощування молодих рослин (наприклад, троянд і зрізаних хризантем).

Теплиці – це інвестиція, заснована на технології. Чим вищий рівень технології використовується, тим більший потенціал для досягнення контрольованих умов вирощування. Щоб знайти найкращу оцінку методу або моделі ET у теплиці, тут визначено три категорії типів теплиць відповідно до їх технології.

1.4.1 Низькотехнологічні теплиці

Теплиці цієї категорії мають просту і нетехнологічну конструкцію. Загальна висота цих теплиць може бути менше 3 метрів, особливо для теплиць типу тунелів або типу голки. Тунельні теплиці зазвичай складаються з гнутих ферм (обручів), які пригвинчуються до землі за допомогою гвинтових анкерів або заливаються бетоном.

Каркасна конструкція виготовляється з дерева, бамбукових паличок або сталі. Вони не мають вертикальних стін і мають погану вентиляцію, переважно пасивну. Конструкція такого типу є відносно недорогою і легкою у зведенні. Автоматичне обладнання в цій теплиці використовується рідко.

Внутрішній клімат низькотехнологічної теплиці сильно залежить від зовнішніх умов. Пластикові теплиці з низькою технологічністю конструкції ймовірно схильні до пошкоджень, які в основному

викликані вітром. Крім того, виробництво сільськогосподарських культур обмежується середовищем вирощування, яке обмежує врожайність і мало сприяє зниженню захворюваності шкідниками та хворобами.

1.4.2 Середньотехнологічні теплиці

Теплиці із середніми технологіями є кращими за структурою порівняно з теплицями з низькими технологіями, де несучою конструкцією є оцинковане залізо та алюміній. Зазвичай вони характеризуються вертикальними стінами більше 2 м, але менше 4 метрів у висоту, а загальна висота зазвичай менше 5,5 метрів.

Теплиці середнього рівня, як правило, покриті одно- чи подвійною пластиковою плівкою або склом і використовують різний ступінь автоматизації.

Цей тип теплиці ближче до низькотехнологічної теплиці з точки зору внутрішньої технології, але ближче до високотехнологічної теплиці з точки зору внутрішнього контролю клімату. Це може бути пов'язано з використанням засобів та обладнання для кращого середовища зростання. Виробництво в теплицях середнього рівня може бути ефективнішим, ніж польове.

1.4.3 Високотехнологічні теплиці

До цієї категорії належать найскладніші конструкції. Вони містять опорні конструкції з оцинкованого заліза, алюмінієві скляні опори та майже завжди використовують скло як матеріал покриття. Висота стінової конструкції не менше 4 метрів, вершина даху – до 8 метрів над рівнем землі. Ці високотехнологічні структури можуть забезпечити оптимальне середовище для росту завдяки контролю клімату. Рухом повітря (вентиляцією), температурою та падаючим світлом у теплиці можна керувати різними засобами та обладнанням. Це обладнання зазвичай контролюється та регулюється інформаційною системою.

Завдяки складним конструкціям і обладнанню тепличне вирощування є рентабельним лише за умови високої продуктивності.

Зазвичай вони обмежуються промисловими районами з високим рівнем виробництва. Проте, з використанням теплиць високого рівня технології, залежність від трудової діяльності можна зменшити, таким чином знизити витрати на виробництво.

1.5. Моделі евапотранспірації в теплиці

Точна оцінка показника ЕТ у теплиці є ключовим параметром управління водними ресурсами для тепличного вирощування. Непряме вимірювання ЕТ в теплиці - це метод розрахунку ЕТ з використанням даних мікроклімату. Незважаючи на велику кількість моделей транспірації, доступних у різних літературних джерел, було визнано більш доцільним вивчити моделі ЕТ, оскільки вони враховують як процеси випаровування, так і процеси транспірації в тепличне середовище. Крім того, розрізнити обидва процеси важко, оскільки вони відбуваються одночасно. Усвідомлюючи це, будуть вивчені найбільш широко використовувані моделі ЕТ в теплицях. У таблиці 2.2 наведено десять моделей ЕТ, які найчастіше зустрічаються в літературі та актуальні для застосування в умовах теплиці.

Таблиця 2.2: Різні типи моделей ЕТ, використаних у дослідженні

Модель ЕТ	Класифікація	Тип моделі
ФАО Пенман	Комбінований метод на основі енергетичного балансу	Фізична модель
Пенман-Монтейт	Комбінований метод на основі енергетичного балансу	Фізична модель
Стангелліні	Комбінований метод на основі енергетичного балансу	Фізична модель
Фінн	Комбінований метод на основі енергетичного балансу	Фізична модель
Рівняння енергетичного балансу	Енергетичний баланс	Фізична модель
Пенмана-Монтейта	Спрощена модель Пенмана-	Фізична модель

Скрінхауса	Монтейта	
Радіація ФАО	На основі радіації	Емпірична модель
Прістлі Тейлор	На основі радіації	Емпірична модель
Харгрівз	Radiation-temperature based	Емпірична модель
Спрощена модель	Simplified model from Penman-Monteith	Емпірична модель

Існує два підходи до опосередкованої оцінки ЕТ на основі емпіричних моделей або фізичних моделей. Моделі ЕТ, наведені в таблиці 2.2, є деякими фізично заснованими моделями, які базуються на балансі енергії та комбінації різних теорій. Інші — це емпіричні моделі, які враховують лише сонячну радіацію, температуру та відносну вологість. Емпіричні моделі зазвичай розробляються для конкретного регіону протягом конкретного періоду часу, який не завжди може бути точним для інших періодів часу та регіонів. Щоб отримати правильні розрахунки фактичної ставки ЕТ, еталонний ЕТ (E_{to}), розрахований на основі моделей, необхідно помножити на коефіцієнт урожаю (K_f). Розглянемо два найдоцільніші методи, які використовуються та один з складних методів, який враховує найбільше факторів впливу

1.5.1 Модель FAO Penman

У 1948 році Пенман був першим, хто розробив комбінований метод для обчислення випаровування. Він поєднав компоненти, щоб врахувати енергію, необхідну для підтримки випаровування, і механізм, необхідний для видалення пари.

Модель ФАО Пенмана є вдосконаленою моделлю Пенмана, в якій функція вітру більш чутлива, ніж та, яку спочатку використовував Пенман

Рівняння Пенмана задається як:

$$E_{T_o} = \frac{1}{\lambda} \left[\left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] (R_n - G) + \left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right] (6.43) (W_f) (VPD) \right] \quad (1.4)$$

$$W_f = 1 + 0.0536 u_z$$

де, λ - Прихована теплота пароутворення R_n - Чиста радіація на поверхні культури G - Щільність теплового потоку ґрунту Δ - Нахил кривої тиску пари γ - Психрометрична константа W_f - Функція вітру VPD - Дефіцит тиску пари U_z - Швидкість вітру на висоті z .

1.5.2 Модель Hargreaves

Модель Hargreaves потребує лише вимірних даних про температуру, що є простим і має менший вплив, ніж інші моделі. Цю модель можна використовувати як альтернативу, коли дані про сонячну радіацію, дані про відносну вологість або дані про швидкість вітру недоступні. Метод, заснований на температурі Харгрівза, визначається наступним рівнянням:

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} (0.0023) (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a \quad (1.5)$$

де λ - Прихована теплота пароутворення, R_a - Позаземна сонячна радіація, T_{max} - Максимальна добова температура повітря T_{min} - Мінімальна добова температура повітря T_{mean} - Середньодобова температура повітря

1.5.3 Екранна модель Пенмана-Монтейта

Одновимірна модель екрану була отримана Möller, заснована на модифікованому рівнянні, що включає додатковий опір граничного шару. Цей підхід передбачає, що повітря екрану є безперервним з нижніми шарами атмосфери. Ця модель базується на частковій подібності між середовищем ширми та умовами відкритого поля.

Модель екранного приміщення Пенмана-Монтейта використовує кліматичні дані навколишнього середовища про температуру, вологість, швидкість вітру та короткохвильове випромінювання для прогнозування клімату врожаю та транспірації всередині екранного

приміщення. ET від навісу в ширмі можна розрахувати за таким рівнянням:

$$LE = \frac{\Delta^* (R_n - G)}{\gamma^* + \Delta^*} + \frac{\rho C_p [(e_s(T_a) - e_a)]}{r_a [\gamma^* + \Delta^*]}$$

$$\Delta^* = \Delta (1 + r_b/r_a)$$

$$\gamma^* = \gamma [1 + (r_c + r_b)/r_a]$$

$$r_a = \ln [(z_m - d)/z_{om}] \ln [(z_h - d)/z_{oh}] k^{-2} u^{-1}$$

$$r_b = 220 (D^{0.2}/u_{in}^{0.8})$$
(1.6)

де LE - Потік прихованого тепла навісу R_n - Чиста радіація навісу G - Тепловий потік ґрунту ρ - Густина повітря, C_p - Питома теплоємність повітря T_a - Температура навколишнього повітря e_s - Тиск насиченої пари e_a - Фактичний тиск пари Δ - Нахил кривої тиск насиченої пари від температури γ - Психрометрична константа r_a - Аеродинамічний опір листа r_b - Опір листового прикордонного шару r_c - Стійкість навісу z_m - Висота датчика імпульсу z_{om} - Довжина шорсткості для імпульсу d - Зміщення нульової площини купола z_h - Висота датчика вимірювань вологості z_{oh} — Довжина шорсткості для тепла та водяної пари u - Горизонтальна швидкість вітру D - Середній діаметр стулки u_{in} - Внутрішня швидкість повітря

1.6 Методи вимірювання тепличного мікроклімату

Таблиця 2.3 Розміщення кліматичного обладнання для кліматичних даних теплиць

Тепличний тип	Опис теплиці	Автор	Обладнання
Низькотехнологічна теплиця	Теплиця пластикова	Fernández et al. (2009)	Всередині і зовні
	Екран-хаус	Möller et al. (2004)	Всередині і зовні
	Екран-хаус	Möller and	Всередині і зовні

		Assouline (2007)	
	Екран-хаус	Tanny et al. (2006)	Всередині
Теплиця середньої технології	Природна вентиляція	López-Cruz et al. (2008)	Всередині і зовні
	Природна вентиляція	Takakura et al. (2009)	Всередині
	Природна вентиляція	Liu et al. (2008)	Всередині
	Природна вентиляція	Valdés-Gómez et al. (2007)	Всередині і зовні
Високотехнологічна теплиця	Контрольоване середовище	Prenger et al. (2001)	Всередині
	Контрольоване середовище	Fynn (1993)	Всередині і зовні
	Контрольоване середовище	Baille et al. (1994)	Всередині

Точність і надійність кліматичних даних важливі для розрахунків ЕТ за допомогою моделей ЕТ.

У таблиці 2.3 наведено способи розміщення обладнання для кліматичних даних, виконаного попередніми дослідженнями, всередині або поза теплицями. Кліматичні дані, виміряні всередині теплиці, були отримані для всіх типів теплиць. Вимірювання внутрішнього клімату має важливе значення, оскільки ці дані тісно пов'язані з фактичним ЕТ, яким керують урожай, ґрунт і водні поверхні. Baille, Prenger, Tanny, Liu і Takakura вимірювали лише внутрішній клімат. Виміряні кліматичні дані за допомогою різноманітного обладнання були зроблені для сонячної радіації, сумарної радіації, температури повітря, температури листя та швидкості вітру. Вимірювання проводилися поблизу культур усередині теплиці, причому деякі з них мали приблизно 30 см над пологом культур Baille, Liu, Prenger. Кліматичні дані, отримані з внутрішнього

клімату, безпосередньо використовувалися для обчислення швидкості ЕТ за допомогою моделей ЕТ.

Незважаючи на наявність внутрішніх кліматичних даних, деякі літературні джерела проводили вимірювання зовнішнього клімату поблизу теплиці. Здебільшого це робили в теплицях із низькими технологіями середні та високотехнологічні теплиці. Відомо, що низькотехнологічна теплиця більше пов'язана з зовнішнім кліматом через структуру та матеріал теплиці. Фернандес у пластиковій теплиці виміряв кліматичні дані всередині та зовні за допомогою автоматичної агрометеорологічної станції. Для вимірювання температури повітря та відносної вологості використовували аспіраційний психрометр. Швидкість вітру вимірювали чашковим анемометром. Метеостанція, розміщена на вулиці, поблизу теплиці, використовувалася для вимірювання зовнішньої радіації, щоб визначити пропускну здатність теплиці (коефіцієнт пропускання теплиці – це співвідношення між внутрішньою та зовнішньою сонячною радіацією). Крім того, Фернандес провів оцінку тепличного клімату, щоб дізнатися градієнт температури, передачу радіації та відносну вологість між зовнішнім і внутрішнім кліматом, особливо для ефекту відбілювання.

У ширмовому будиночку кліматичні дані, виміряні ззовні та всередині, були отримані шляхом вимірювання сонячної радіації, швидкості вітру, температури повітря та вологості (Möller). Кліматичні дані всередині теплиці вимірювалися біля навісу, а зовні – на відстані 5 метрів від бічних стін теплиці. Орієнтовний урожай ЕТ (ЕТв) для гіпотетичного врожаю солодкого перцю за межами грохоту було обчислено та пов'язано зі значеннями погодинного потоку соку порівняно з ЕТо. Це було знайдено Möller та було виявлено зменшення споживання води для посівів на 60% всередині ширми порівняно з відкритим полем. Зовнішнє сонячне випромінювання використовувалося для визначення сумарної радіації під екраном, яка була отримана з рівняння радіаційного потоку.

Подальші дослідження Möller і Assouline були проведені, щоб побачити вплив екрану, що затінює, на мікроклімат і потреби культури у воді. Вимірювання проводилися за допомогою автоматичної метеостанції, розташованої в центрі екрану та на відстані 5 метрів назовні. Вимірюваними кліматичними даними були глобальна радіація, швидкість вітру та температура повітря. Зовнішнє глобальне випромінювання використовувалося для обчислення коефіцієнта пропускання екрану шляхом співвідношення глобального випромінювання всередині та зовні. Щоденна глобальна радіація, температура повітря та швидкість вітру порівнювалися зовні та всередині екрану. Результати показали, що градієнт температури між зовнішньою та внутрішньою ширмою сильно корелював. Швидкість вітру, виміряна всередині та зовні екрану, також дала високий коефіцієнт кореляції (r^2) 0,80, що означає, що швидкість вітру була майже такою ж, як на вулиці. Порівняння внутрішнього E_{To} і за межами E_{To} обчислення на основі виміряних кліматичних даних призвело до 38% нижчої швидкості E_T під екраном, ніж оцінки за межами. Основний вплив цієї трохи низької швидкості E_T був викликаний зниженням радіації всередині екрану.

У теплиці середньої технології, López-Cruz виміряли зовнішню радіацію з метою

розрахунку коефіцієнта пропускання теплиці, для чого були потрібні дані про сонячну радіацію всередині та поза теплицею. У тому ж типі теплиці порівняння було зроблено Valdés-Gómez для порівняння E_T врозраховано методом Прістлі Тейлора з використанням сонячного випромінювання всередині та поза теплицею. З цієї причини всередині теплиці була встановлена автоматична метеостанція (АМС) для вимірювання сонячної радіації, чистої радіації, температури повітря та відносної вологості. Ще один АМС був встановлений над трав'яним покривом для вимірювання атмосферних умов поза теплицею. Дослідження показало, що E_T вдав відносно низьку похибку 6,1% з використанням внутрішнього вимірювання температури повітря та відносної вологості, але зовнішнє

вимірювання сонячної радіації. Для цієї умови можливість використання датчика сонячного випромінювання поза теплицею буде надійною з огляду на пропускні властивості покривного матеріалу. Фінн вимірював сонячну радіацію та температуру повітря поза контрольованою теплицею (високотехнологічною теплицею) з метою порівняння рівня сонячного опромінення та температурного градієнта між внутрішньою та зовнішньою теплицями. Внутрішні кліматичні дані є більш важливими для використання для оцінки швидкості ET у високотехнологічних теплицях, як це зробили Stanghellini, Baille і Prenger.

1.6. Висновок

Теплична промисловість розширилася в багатьох частинах світу, і потреба в інформації про надійний метод ET, особливо непрямий метод, є надзвичайно важливим. Кожен тип моделі може не підійти для всіх умов теплиці. Це було доведено на основі вивченої літератури, яка показала, що точність кожної моделі багато в чому залежить від мікроклімату типу теплиці. У цьому розділі було визначено типи теплиць, щоб класифікувати моделі ET, які найчастіше використовувалися в попередніх дослідженнях. Виходячи з наявних матеріалів, були виділені моделі ET, які підходять до типу теплиці. Наведено огляд точності кожної моделі в результаті попередніх досліджень. Крім того, було описано вибір моделей ET для обмежених кліматичних даних. Можна сказати, що більшість досліджень переважно використовували звичайні та прості моделі для низькотехнологічних теплиць. Незважаючи на свою простоту, ці моделі дали хороші оцінки ET для теплиці. Базуючись на їх точності, модель ФАО Пенмана рекомендована для розрахунку ET у пластиковій теплиці, а модель Харгрівза (включаючи пропускну здатність теплиці до значення позаземного випромінювання) у екрані.

Найважливішими кліматичними даними для теплиць є внутрішні дані. Ці дані правильно відображатимуть стан тепличного середовища. Зовнішні кліматичні дані були більш пов'язані з низькотехнологічними

теплицями, оскільки стан теплиці найбільше відображає умови зовнішнього поля. Крім того, зовнішній клімат найчастіше використовувався в цих літературах для порівняння погодних умов усередині та зовні, особливо щодо сонячної радіації, температури та швидкості вітру. У літературі не було знайдено для теплиць, які б використовували доступні кліматичні дані з метеостанції, розташованої на відстані від теплиці, або історичні дані про погоду для обчислення швидкості ET. Усі дослідники використовували власні кліматичні вимірювання для збору кліматичних даних всередині або зовні, поблизу теплиці.

2. Розробка прототипу на основі мікроконтролера і датчиків для моніторингу для керування параметрами теплиці

2.1. Вступ

У цьому розділі зосереджено увагу на апаратних, схемних і програмних конструкціях автоматики прототип теплиці. По-перше, у цьому розділі детально розглядається датчики LDR, DHT11, мікроконтролер ATmega328, LCD, HC05 Bluetooth, GSM SIM800L і 4-канальне реле 5 В. По-друге, у розділі детально розглядається прототип схеми, щоб продемонструвати, як кожен компонент був інтерфейсом до мікроконтролер з очікуваним проектом прототипу.

2.1.1 Конструкція обладнання

На малюнку 2.1 показана блок-схема спроектованого прототипу теплиці. Розроблений прототип має наступні блоки: зондування, обробки та зберігання, відображення та індикація, бездротовий зв'язок, живлення та активація. Система складається з чіпа мікроконтролера, LCD, GSM, Bluetooth, датчиків, реле та приводи. Мікроконтролер був з'єднаний з двома датчиками для різних вимірювань параметри теплиці, такі як рівень температури, освітленість і відносна вологість. Вхідні дані, отримані від датчика світла, були оцифровані за

допомогою бортового АЦП. Цифровий дані надходили на мікроконтролер, який приймав рішення та активував відповідні приводи згідно встановленої програми. На РК-дисплеї відображалися показання датчиків і стан приводів. Дані, надані датчиками, були записані в EEPROM який за запитом відправив його на мікроконтролер для аналізу. Мікроконтролер спілкувався з модулем GSM за допомогою команд, які використовувалися для надсилання та отримувати короткі повідомлення.

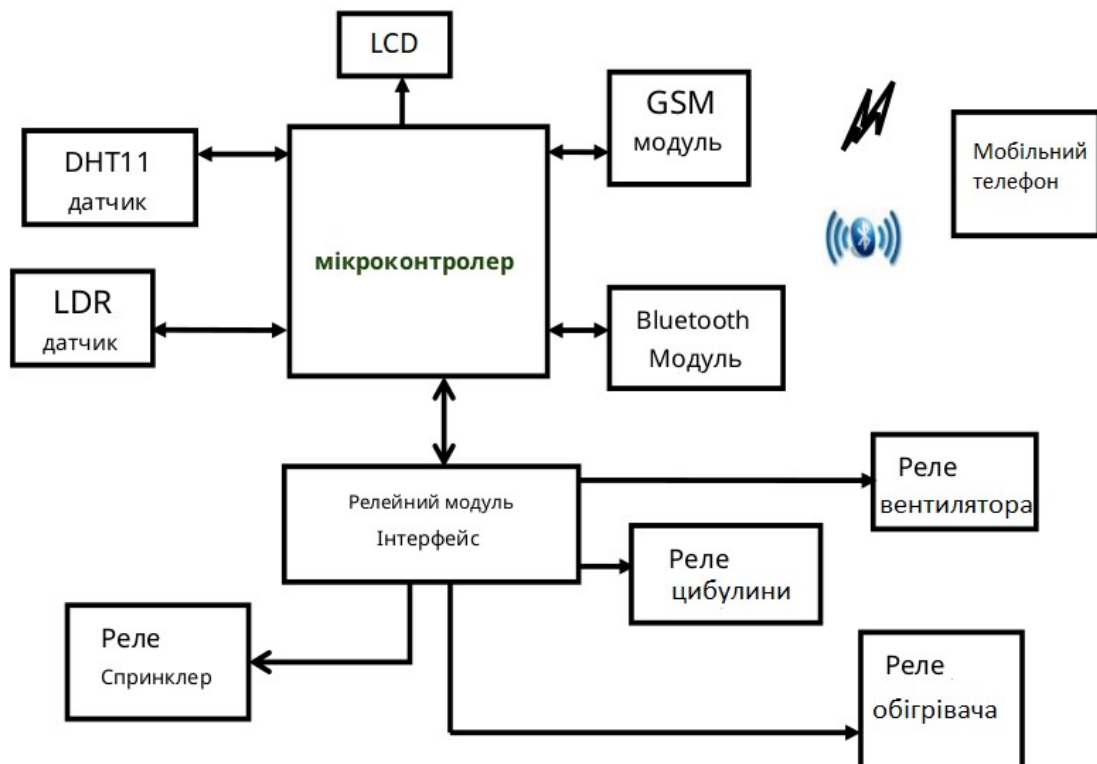


Рисунок 2.1: Блок-схема прототипу теплиці

2.2. Датчики

Датчик – це підсистема, яка виробляє значущий електричний сигнал під впливом фізичного стану, характеристики або кількості, що вимірюється. Роль датчика полягає в тому, щоб реагувати на вхідну механічну властивість і перетворити його на електричний імпульс, що відповідає електронним схемам.

Датчики бувають двох категорій; аналогові та цифрові датчики. Цифрові датчики генерувати вихідні дані з кроком 0 та 1, що перетворюється на діапазон напруги датчика. Аналогові датчики видають безперервні значення в діапазоні своїх напруг. Його вихідна

напруга змінюється в залежності від показань датчика. Цифрові датчики дають вихід у термінах «ВКЛ» відповідає 5 В або «ВИМК.», що відповідає 0 В. Використовується аналоговий датчик виконувати вимірювання аналогових числових значень, де потрібна точність, для наприклад швидкість або температура. Аналоговий датчик здатний виробляти нескінченну кількість цінностей. Вихід датчика з'єднаний із вхідним висновком мікроконтролера та дані змінюються на цифровий сигнал. Деякі датчики, наприклад цифровий датчик вологості та температури (датчик DHT11), має бортовий АЦП, щоб їхній вихід був цифровим. Ці датчики, наприклад датчик LDR, не має бортового АЦП, аналогові дані перетворюються в цифрову форму бортового АЦП. Після того, як дані оцифровані, вони можуть бути оброблені мікроконтролером. У цьому проекті датчики звикли вимірювання параметрів теплиці є датчиками DHT11 та LDR.

2.2.1 Модуль датчика DHT11

Для вимірювання температури та вологості в прототипі в цьому дослідженні використовувався датчик DHT11. На малюнку 2.2 показана схема сенсорного модуля DHT11.

Технічні характеристики датчика, які привернули його вибір для цього проекту, включають: низька робоча напруга від 3 до 5 В при 2,5 мА і 150 мкА в режимі очікування, широкий діапазон вимірювань вологості від 20% до 90% з похибкою $\pm 5\%$ і температурний діапазон від 0 до 50°C з похибкою $\pm 2^\circ\text{C}$. Він важить 2,7 г і має розміри 15,5 мм $\times$ 12 мм $\times$ 5,5 мм, тому підходить для вбудованих систем.

Система датчиків складається з об'єднаних датчиків температури та вологості видає відкалібрований цифровий сигнал. Сенсорна система використовує чудовий цифровий сигнал технологіями вимірювання вологості та температури, тому це високонадійно. Датчик має компонент для вимірювання вологості, який є в основному резистивний матеріал і компонент для вимірювання температури, яким є резистор з негативним температурним коефіцієнтом (НТК). Ці два

компоненти підключені до високошвидкісного мікроконтролера, що забезпечують високі стандарти, дешево та надійно.

Сенсорні компоненти DHT11 відкалібровані в лабораторіях з високою точністю калібрування вологості. Коефіцієнти калібрування зберігаються, як програмне забезпечення в пам'яті, яке використовується внутрішнім протоколом виявлення датчика. Використання однопровідного інтерфейсу забезпечує легку інтеграцію. Крім того, споживання енергії є низьким, і сигнали можуть передаватися на великі відстані до максимальної довжини 20 м. DHT11 містить 4 шпильки в одному ряду.

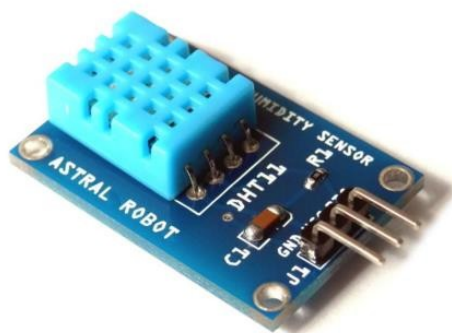


Рисунок 2.2: Датчик DHT11

У цьому дослідженні датчик розмістили всередині теплиці, а потім підключили до мікроконтролера. Будь-яка зміна температури або вологості в теплиці викликала негативний вплив датчика для створення цифрового сигналу, пропорційного температурі або вологості на ньому. Вихідний сигнал подавався на мікроконтролер і використовувався для запуску

вентиляторів або нагрівача, якщо температура була вище або нижче попередньо встановлених значень. Малюнок 3.3 показано компоненти датчика DHT11. Вони містять компонент для виявлення вологості, термістор і мікроконтролер для калібрування оцифрованого сигналу.

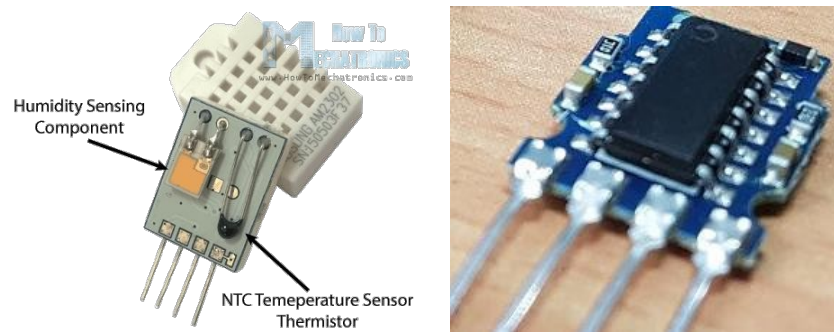


Рисунок 2.3: Компоненти датчика DHT11

2.2.2 Теорія функціонування датчика вологості

Компонент датчика вологості складається з двох провідників, що несуть вологу поглинаючий матеріал, як показано на малюнку 2.4. Коли є зміни вологи змінюється стійкість матеріалу, що поглинає цю вологу. Коли водяна пара поглинається субстратом, іони виділяються субстратом, що збільшує провідність між електродами. Зміна опору між ними електродами пропорційна відносній вологості.

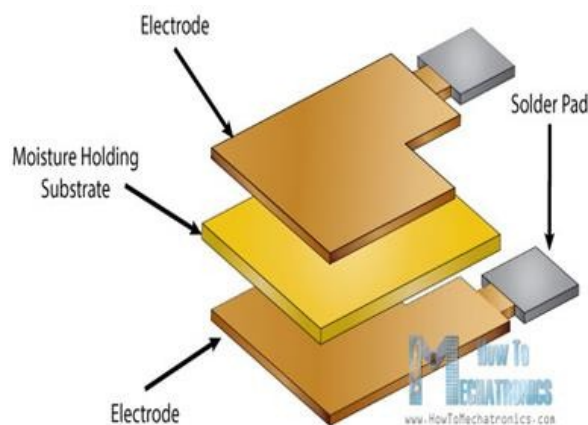


Рисунок 2.4: Компонент датчика вологості

Вища відносна вологість зменшує опір між електродами, а нижча навпаки збільшує. Тому датчик створює різницю потенціалів проти зміни відносної вологості пропорційно джерелу живлення. Це означає, що точка, в якій змінюється живлення, датчик виробляє напругу в тій самій пропорції. Ця варіація виявляється, посилюється та обробляється сенсорним мікроконтролером, який робить його читабельним для системи мікроконтролера. Працює в діапазоні напруг від 4 до 5 В.

Можна взяти вихідну напругу датчика для компонента датчика вологості врахувати згідно з рівнянням 3.1 (крива вихідної напруги першого порядку при 25°C):

$$V_{OUT} = (V_{CC})\{0.0062(\%RH)\} + 0.16$$

Де: V_{OUT} - вихідна напруга датчика;

V_{CC} - напруга живлення;

%RH - датчик відносної вологості.

Константа 0,0062 є градієнтом рівняння першого порядку і 0,16 - вихідна напруга при відсутності напруги живлення датчика.

2.2.3 Теорія функціонування датчика температури

Датчик використовує термістор для визначення температури, показаної на малюнку 2.5. Це резистор, опір якого змінюється зі зміною температури. Датчик виготовлений методом спікання напівпровідникової речовини, щоб створити більші коливання опору при швидкою зміною температури.

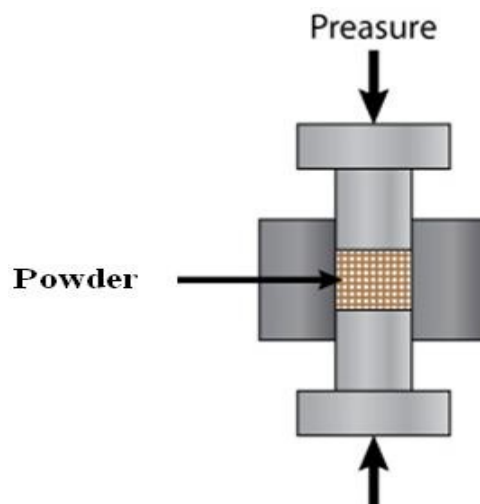


Рис 2.5 Компонент датчика температури

Термістор є резистивною підсистемою, тому через нього необхідно пропускати струм, щоб він міг видавати напругу, яку може виявити система збору даних. Найбільший поширеною технікою є

використання джерела постійної напруги (V_{CC}) і постійний резистор (R_0), а потім налаштовується термістор для формування дільника потенціалу, як показано на малюнку 2.6.

У налаштуванні вихідної напруги (V_{OUT}) буде задано рівнянням 2.2:

$$V_{OUT} = \left(\frac{R_T}{R_T + R_0} \right) V_{CC} \quad (2.2)$$

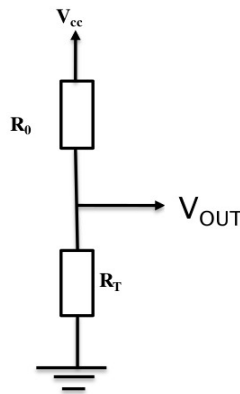


Рисунок 3.6: Конфігурація термістора

Опірно-температурна характеристика термістора може бути приблизно апроксимована відносно точно з рівнянням Стейнхарта-Харта 2.3:

$$T(^{\circ}C) = \frac{1}{\alpha_0 + \alpha_1 \ln(R_T) + \alpha_2 [\ln R_T]^2} \quad (2.3)$$

де: $T (^{\circ}K)$ - температура; R_T - опір термістора.

Коефіцієнти α_0 , α_1 і α_2 може бути надано виробником термістора або розраховується з кривої температурного коефіцієнта. Для термістора, який використовується в цьому дослідженні:

$$\alpha_0 = 0,001191, \alpha_1 = 2,357 * 10^{-4} \text{ і } \alpha_2 = 9,252 * 10^{-8}$$

2.2.4 Датчик LDR

У цьому дослідженні використовувався датчик світлозалежного резистора (LDR), показаний на малюнку 2.7 . Це в основному резистор, внутрішній опір якого збільшується або зменшується залежно від рівня інтенсивності світла, що падає на поверхню датчика. Вони складаються з напівпровідникових матеріалів з високим опором. У таблиці 2.1 наведені технічні специфікації датчика LDR, який використовується в цій дослідницькій роботі.



Рисунок 2.7 Датчик LDR

Таблиця 2.1: Технічні характеристики датчика LDR

Специфікація	Значення
Пік напруги (змінного або постійного струму).	320 В
поточний	75 мА
Розсіювана потужність при 30 °C	250 мВт
Діапазон робочих температур	- 60 °C до 75 °C

У цій системі датчик розміщували всередині теплиці, а потім підключали до мікроконтролера. Будь-яка зміна інтенсивності світла в теплиці вноситься датчиком, який здійснює електричний імпульс, залежно від освітленості. Вихідний сигнал був поданий до контролера, і це використовувалося для ввімкнення та вимкнення лампочки.

2.2.5 Теорія функціонування датчика LDR

Датчик LDR працює на основі теорії фотопровідності світла.

Фотопровідність - світлова властивість матеріалу, завдяки якій, коли матеріал отримує світло, його опір зменшується. LDR виготовлений із напівпровідника, і електрони валентної зони напівпровідника

збуджуються до зони провідності, коли фотони падають на пристрій. Велика кількість електронів витісняється з валентної зони в зону провідності, коли світло з достатньою енергією потрапляє на напівпровідниковий матеріал. Результатом цього процесу є високий струм, що протікає через пристрій у замкнутому ланцюзі, оскільки опір пристрою було зменшено.

2.2.6 Особливості датчика LDR

Структура світлозалежного резистора показана на малюнку 3.8. Він складається з відкладення світлочутливої речовини на ізоляторі, наприклад кераміці. Зигзагоподібна зона поділяє зону осадження металу на дві частини. Потім омичні контакти зроблені з обох сторін площі. Опір цих контактів має бути як можливо меншим, щоб переконатися, що опір змінюється лише через вплив світла.

Опір датчика LDR становить приблизно 10-12 КОм у темряві, це опір називається темновим опором, і якщо датчик LDR поглинає світло, цей опір різко зменшується. З цієї причини подача фіксованої напруги на датчик і збільшення інтенсивності світла струму через нього значно посилюється. Найбільш поширеним використовується техніка, яка полягає в використанні джерела постійної напруги (V_{out}) і постійний резистор (R_i), і налаштування датчика LDR для формування ділянки потенціалу, як показано на малюнку 2.9. Вихідна напруга (V_{OUT}) визначається рівнянням 2.4:

$$V_{OUT} = \frac{R_L \times V_{in}}{R_L + R_i} \quad (2.4)$$

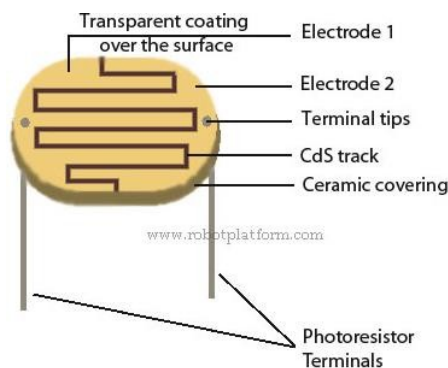


Рис 2.8 структура датчику LTR

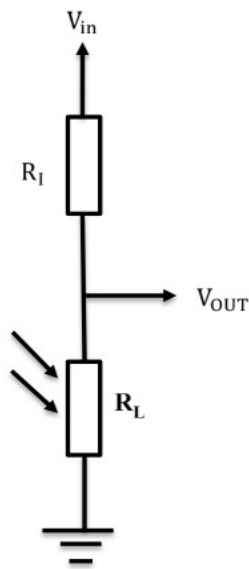


Рисунок 3.9: Конфігурація датчика LDR

2.3. Блоки обробки та зчитування даних

Блок чутливості, блок відображення та індикації, блок зв'язку та для виконання різноманітних завдань, таких як блок керування, потрібен центральний процесор як збір і обробка даних. Тому в нього був вбудований мікроконтролер система. Мікроконтролер - це інтегрована мікросхема, яка складається з усіх компонентів включаючи програмовані периферійні пристрої, порти введення/виведення, центральний процесор, таймери і програма (Аугартен, 1983). У цьому дослідженні використовувався мікроконтролер ATmega328 аналіз вхідних сигналів від датчиків і подальше інструктування приводів, модуль Bluetooth і модуль GSM відповідно.

2.3.1 Чіп мікроконтролера ATmega328

Чіп мікроконтролера ATmega328 (виробник Microchip Technology Company) споживає низьку напругу і має вдосконалену конструкцію з високою продуктивністю. Це 8 розрядний мікроконтролер з процесором, що працює на архітектурі AVR Harvard. Основні параметри ATmega328 описані нижче:

1. 28 контактів і 23 лінії програмованого вводу/виводу.
2. Три команди комунікації інтерфейсу; Послідовний інтерфейс, програмований послідовний USART і двопровідний головний/підлеглий SPI.

3.Діапазон робочих температур від -40 до + 105 °С і діапазон робочої напруги від + 1,8 до + 5,5 В.

4.Шість програмних режимів енергозбереження; Режим шумозаглушення, режим очікування, розширений режим очікування, режим вимкнення живлення, режим очікування та режим енергозбереження.

5.Програмований сторожовий таймер із внутрішнім окремим генератором.

6.1 Кбайт EEPROM і 2 Кбайту внутрішньої SRAM зі CPU Speed 1 MIPS для 1 МГц. Програмна або флеш-пам'ять 32 Кбайт (10000 циклів запису/стирання).

7 .4 Зовнішніх генератора: 0–4 МГц при 1,8–5,5 В, 0–10 МГц при 2,7–5,5 В і 0 - 20 МГц при 4,5-5,5 В.

8.Калібрований внутрішній генератор 8 МГц і шість каналів PWM.

9.Два 8-розрядних лічильника з режимом порівняння, один 16-розрядний лічильник із вбудованим Prescaler з режимами порівняння.

10. 6 каналів 10-розрядного АЦП і 1 аналоговий компаратор (контакти 12, 13).

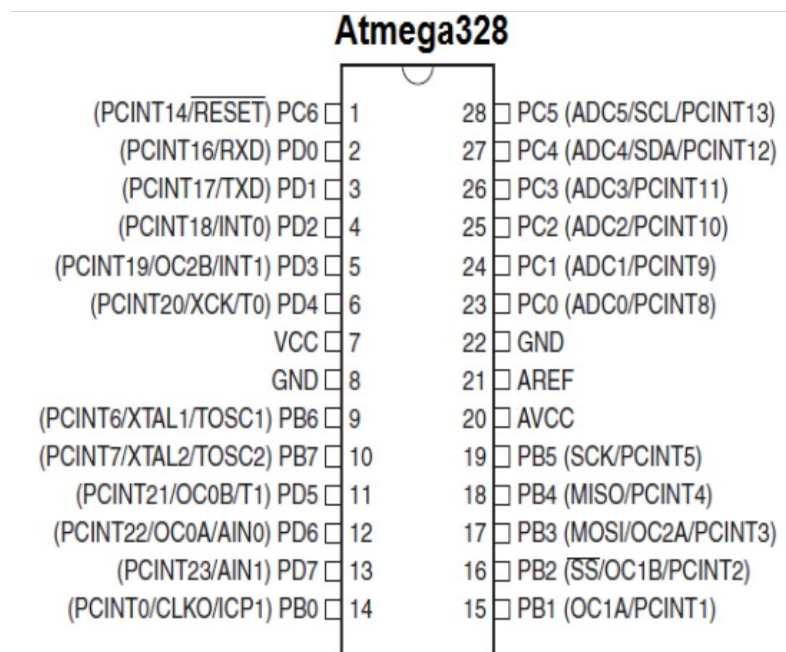


Рисунок 2.10: Виводи мікроконтролера АТmega 328

Для цього проекту було обрано АТmega328 через його економічну ефективність, його відмінні характеристики та той факт, що плати Arduino розроблені на цьому контролері.

2.3.2 Внутрішня архітектура мікроконтролера ATmega328.

The diagram illustrates the internal architecture of the AT89C51 microcontroller. A central 8-bit Data Bus connects various internal and external components. Internal components include:

- Flash Program Memory:** Connected to the Program Counter and Instruction Register.
- Program Counter:** Manages the execution flow, connected to the Instruction Register and the Data Bus.
- Status and Control:** Manages the microcontroller's state, connected to the Data Bus.
- Instruction Register:** Holds the current instruction, connected to the Instruction Decoder and the Data Bus.
- Instruction Decoder:** Decodes instructions and outputs **Control Lines**.
- 32 x 8 General Purpose Registers:** Used for data manipulation, connected to the ALU and the Data Bus.
- ALU (Arithmetic Logic Unit):** Performs arithmetic and logical operations on data from the registers, connected to the Data Bus.
- Data SRAM:** Provides fast data storage, connected to the Data Bus. It supports **Direct Addressing** and **Indirect Addressing**.
- EEPROM:** Provides non-volatile data storage, connected to the Data Bus.
- I/O Lines:** The physical interface for external communication, connected to the Data Bus.

External components connected to the Data Bus include:

- Interrupt Unit**
- SPI Unit**
- Watchdog Timer**
- Analog Comparator**
- I/O Module1**
- I/O Module 2**
- I/O Module n**

Рисунок 2.11 архітектура центрального процесора ATmega328.

Діаграма на малюнку 2.11 показує центральний процесор. Для максимальної продуктивності доступу до даних і програм, У пам'яті програм команди виконуються таким чином, що як одна команда

виконується, наступна команда попередньо вибирається з пам'яті. Це означає, що команди виконуються в кожному циклі. Перепрограмована флеш-пам'ять є хранителем програмної пам'яті. Доступ до регістру має 32 робочих регістри загального призначення, які мають доступ до одного тактового циклу часу, це дає змогу виконати одну операцію циклу арифметичного та логічного пристрою.

ALU виконує арифметичні та логічні вправи або між регістром і константою. Операції з одним регістром також можна виконувати в ALU. Реєстр статусів оновлюється для відображення інформації про результат операції після арифметичної дії. Умовні та безумовні стрибки та виклик вказівки забезпечують безперебійну роботу програми. ATmega328 має одне 16-бітне слово шаблонні інструкції, тому кожна пам'ять програми має біт інструкції 16/32-біт.

Програмна флеш-пам'ять складається з двох частин; завантажувальна та прикладна частина, яка має біти блокування запису та читання. Програма завантаження є зберігачем пам'яті програм, яка записує команди в флеш-пам'ять.

Стек є хранителем програмного лічильника повернення під час підпрограм і переривати дзвінки. Його виділення є пам'яттю даних (SRAM) і, таким чином, обмежено SRAM простір і його використання. Статичний показник має бути ініціалізований усіма програмами, які є використовується в будь-який момент часу, і до нього можна отримати доступ через простір введення/виведення. Дані доступу до пам'яті можна отримати через 5 режимів адресації в архітектурі ATmega328. Усі простори пам'яті ATmega328 є лінійними зі звичайними картами пам'яті. Гнучкі переривання містять контрольні регістри всередині простору введення/виведення та управління регістром, що містить додатковий біт переривання. У таблиці векторів переривань усі переривання мають унікальний вектор переривання, і доступ до них здійснюється відповідно до їхньої позиції. Чим нижче адреса вектора переривання, тим вищий шанс. Вхід/вихід має 64 центральних адресних блоків обробки для периферійних функцій, таких як послідовний периферійний інтерфейс, регістри керування та інші ролі

введення/виведення. Доступ до пам'яті вводу/виводу може бути прямим або як розташування простору даних, за яким слідує файл реєстру. На додачу ATmega328 містить розширений простір вводу/виводу в SRAM для зберігання спеціальних команд.

2.4. Блок бездротового зв'язку

2.4.1 Телефонна система мобільного зв'язку

Працює через стільниковий сайт (базову станцію) або вежу зв'язку, може здійснювати або приймати виклики. Передача сигналів з мобільного телефону за допомогою радіохвиль. Стільникові сайти та телефонні трубки різняться під керуванням комп'ютера та використовують передавачі малої потужності, щоб одночасно використовувати декілька радіочастот, щоб з'єднати величезну кількість абонентів із мінімальною кількістю абонентів запросу.

Оператори мобільного зв'язку використовують стільникову мережу, щоб отримати покриття та номер свого підписника. Щоб запобігти втраті лінії зору та сприяти величезній кількості активних телефонів у певній області, великі географічні зони розбиваються на менші комірки. Сайти підключені до телефонної мережі загального користування.

Існує кілька різних цифрових стільникових технологій, зокрема: глобальна система для мобільного зв'язку (GSM), загальна пакетна радіопередача (GPRS), розширені дані швидкість розвитку GSM (EDGE), універсального мобільного зв'язку (UMTS) тощо.

2.4.2 Модуль GSM SIM800L

Модуль GSM SIM800L дозволяє відправляти та отримувати SMS-повідомлення під час моніторингу тепличної системи. Тому теплиця керована з усіх точок по всьому світу. SIM800L використовує техніку поверхневого монтажу (SMT), отже, це досить високонадійно. Це чотиридіапазонний SIM-модуль, що означає, що він може працювати на чотирьох частотах, щоб забезпечити високу продуктивність на 850

МГц або 900 МГц або 1800 МГц або 1900 МГц, для голосу, SMS і даних. Щоб відповідати специфікаціям M2M, використовується модуль розмірів (15,8 × 17,8 × 2,4) мм. Основні функції SIM800L проілюстровано в таблиця 3.4. Для підключення і використання AT-команд. AT-команди є префіксом, який повідомляє про модуль початку комунікації. Команда D (циферблат) і + CMGR команда іges).
Рисунок 2.12: Модуль SIM800L 35



Таблиця 2.2: Основні характеристики GSM SIM800L

Характеристика	Опис
Напруга	3,4 В - 4,4 В
Струм (режим сну)	0,7 мА.
Частоти (МГц)	GSM850 MHz, EGSM900, DCS1800 і PCS1900.
Передача потужності	КЛАС 4: NGS850 МГц, EGSM900 МГц. КЛАС 1: DCS1800 МГц, PCS1900 МГц
Температурний діапазон	Операційний : -40°C до +85°C Збереження: -45°C до +90°C
SIM	Підтримка SIM-карт: 1,8 В, 3 В
Повідомлення	Збереження в режимах MT, MO, CB, Text і PDU: SIM-карта
Годинник	RTC
Фізичні характеристики	15,8 мм × 17,8 мм × 2,4 мм

	Маса 1,35 г
Час	АТ команди

Рисунок 2.13: Регулятор напруги LM2596

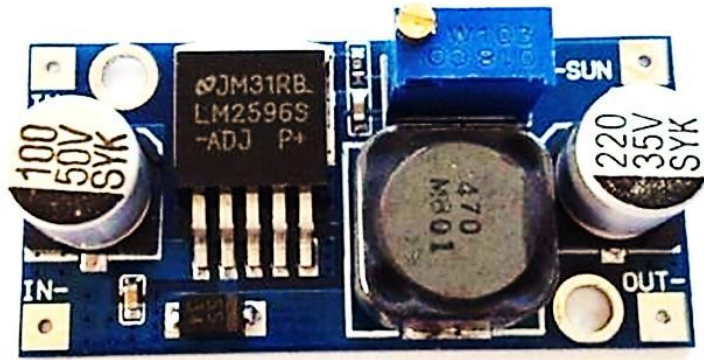
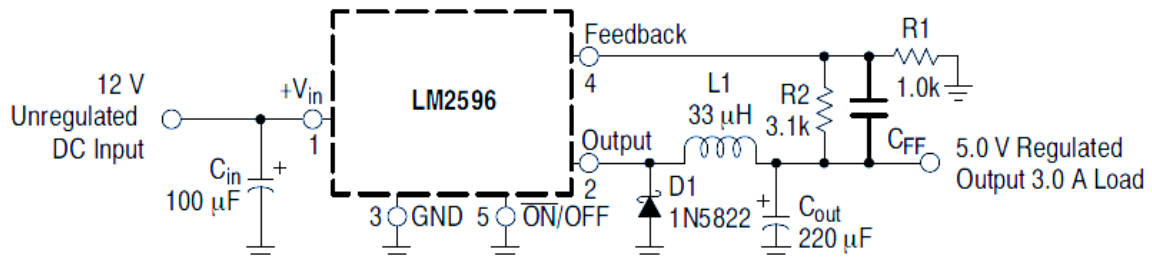


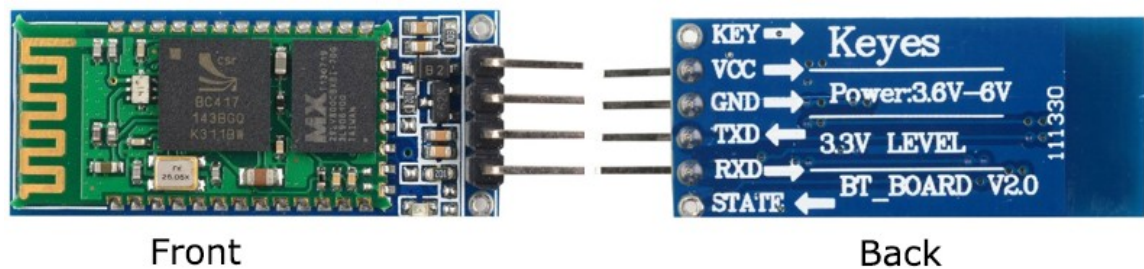
Рисунок 2.14: Схема регулятора напруги LM2596



Модуль GSM SIM800L споживає струм 0,7 мА в режимі сну. У цьому для роботи використання модуля GSM потрібна напруга 4,4 В і сила струму 2 А. Рис. 2.13 і 2.14 показаний стабілізатор напруги LM2596, який використовується в цій роботі, і його схемова діаграма відповідно.

2.4.3 Модуль Bluetooth HC05

У цьому дослідженні модуль Bluetooth увімкнув моніторинг і контроль теплиці прототип дистанційного керування через стільниковий телефон у випадку, якщо користувачу знаходиться керування поблизу теплиці. На малюнку 2.15 показано передню та задню частини модуля Bluetooth HC05.



Малюнок 2.15: Контакти модуля Bluetooth HC05

Радіус дії модуля Bluetooth становить 8-10 метрів, це означає, що він надає можливість працювати будь-якому електронному пристрою у цьому діапазоні. Модуль Bluetooth HC05 має адаптер та послідовний інтерфейс, який змінює послідовний порт на Bluetooth.

Він має зручний розмір 26,9 мм x 13 мм x 2,2 мм, що робить його придатним для вбудовані системи. У версії 2.0 підвищена швидкість передачі даних (EDR) має асинхронний режим, швидкість від 160 Кбіт/с до 2,1 Мбіт/с і синхронна швидкість 1 Мбіт/с. Він діє , як гауссова частотна маніпуляція (GFSK) на частоті 2,4 ГГц у діапазоні ISM. Має робочу температуру -20°C до +75°C і робочою напругою 3,3 В при 50 мА.

2.5. Приводний блок

2.5.1 Релейний модуль

Реле - це перемикач, який за допомогою електронних або механічних засобів розмикає та замикає ланцюг.

Розмикаючи та замикаючи контакти в іншому ланцюзі, реле може керувати іншими електричними пристроями. Режими відкритого контакту (коли контакт реле добре відкритий) і замкнутий контакт (коли контакт реле замкнене), коли реле без живлення.

У цьому проекті використовувався 5-вольтовий 4-канальний релейний модуль, показаний на малюнку 2.16, яким є електромехане реле. Як видно на принциповій схемі реле на малюнку 2.17, реле складається з котушки мідного дроту, рухомого контакту та поворотної пружини. Між реле та ланцюгом інтерфейсу підключено схему керування для визначення рівнів входу. З цієї причини реле може працювати, як

пристрій високої потужності, такі як двигуни, і малої, наприклад лампочки.

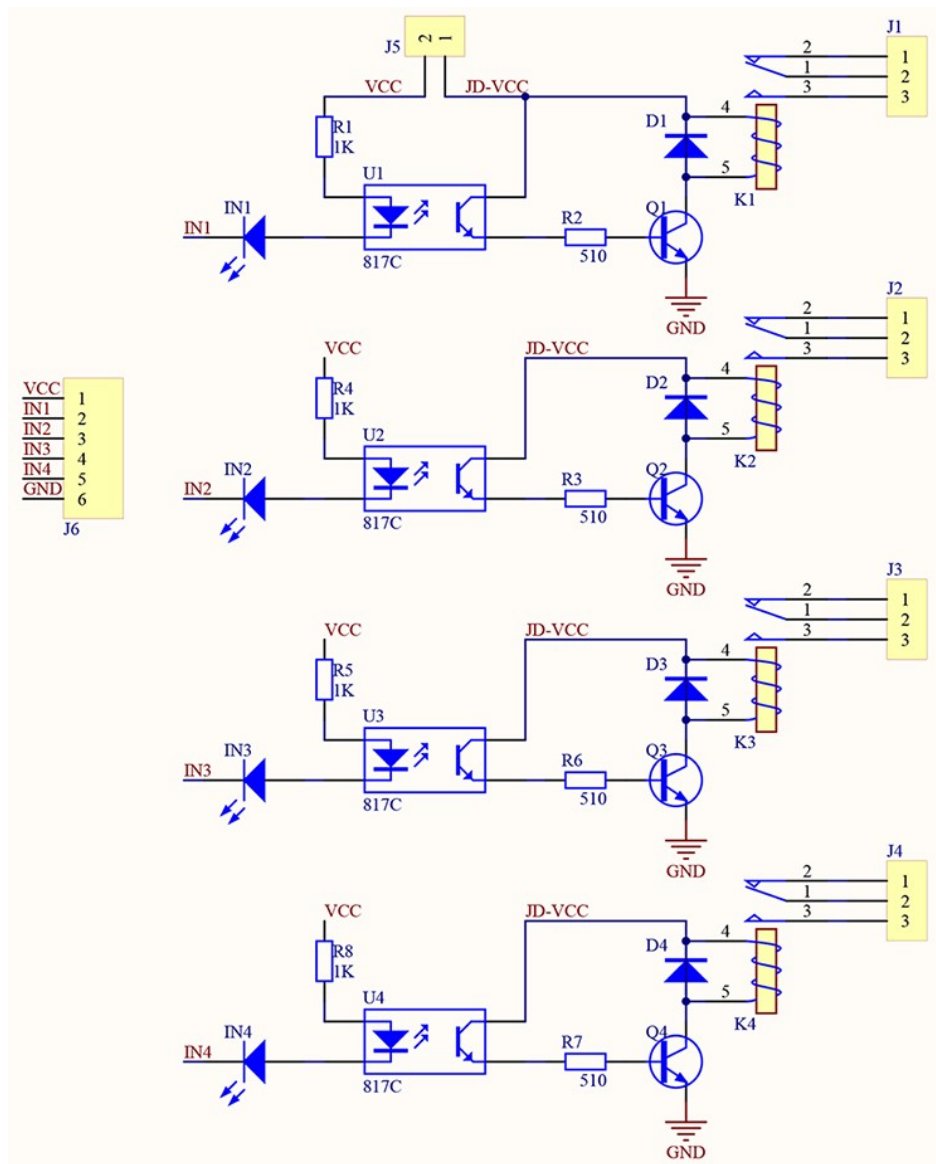


Рисунок 2.16: 4-канальний релейний модуль 5 В

Вхідні з'єднання релейного модуля складаються з логіки GND, яка підключена до GND мікроконтролера, цифрові контакти IN 1, IN 2, IN 3 і IN 4, які підключені до цифрових контактів мікроконтролера або залишити відключеним, якщо він не використовується, і Logic Vcc який підключається до контакту 5 В мікроконтролера для живлення релейного модуля.

Вихідні з'єднання релейного модуля складаються з нормально відкритого (NO), загального з'єднання (COM) і нормально закритого (NC). COM, який використовується як у NO, так і в NC що є центральною клемою реле. NO у відкритому положенні поводить себе як перемикач. Коли реле активовано, воно підключається до COM і подає напругу на навантаження. Таким чином, ланцюг спочатку буде у відкритому стані, доки цей стан не спрацює. NC завжди залишається в контакті з COM і коли реле спрацьовує, воно розмикає ланцюг.

Естафета 1 (K1) підключено одним кінцем до навантаження COM, а інший кінець до NO. Зв'язки для K2, K3 ТА K4 однакові.



Малюнок 2.17: Схема релейного модуля

2.5.2 Приводи

Актuator — це компонент системи для її керування. Це вимагає а керуючий сигнал і джерело енергії. Керуючий сигнал має низьку енергію, яка може бути напруги або електричний. Основним джерелом енергії є електричний струм, тиск рідини або пневматичний тиск. Отримавши керуючий сигнал, виконавчий механізм перетворює його в механічний рух. Розроблений агрегат включає наступні виконавчі механізми:

- Вентилятори: Два вентилятори постійного струму вкеровують швидкість потоку повітря всередині прототипу теплиці, що забезпечує вентиляцію.
- Тепловий потік: Складається з нагрівача 220 В, розташованого всередині теплиці. Прототип для забезпечення тепла, коли це необхідно.

c. Водяний насос: Насос забезпечує засіб для переміщення води через систему при допустимому робочому тиску для спринклера.

d. Система освітлення: світодіоди забезпечують освітлення системи під час похмурої погоди або вночі.

У цьому дослідженні нагрівач, освітлення, вентилятори та водяний насос отримують команди в центральний процесор через реле для контролю кліматичних параметрів теплиці, таких як рівні температури, рівня вологості та освітленості всередині теплиці прототип. Відносну вологість контролювали водяним спринклером і вентилятором, температуру вентилятором і обігрівачем і освітленість світодіодами . Датчик DHT11 був розташований у центрі для вимірювання температури та вологості системи. Також один датчик світла був розміщений у тому ж положенні для визначення інтенсивності світла. Спринклер був розміщений всередині теплиці і приєднаний до насоса від джерела води.

2.6. Схематичне підключення датчиків до мікроконтролера

Щоб зробити мікроконтролер самостійним комп'ютером, підключили резистор 10 КОм до +5 В від контакту 1. Це запобігло скиданню мікроконтролера під час операцій.

Потім вивід 7 було підключено до +5 В, вивід 8 і вивід 22 до землі, вивід 22 до +5 В до аналогового посилення. Atmega 328 працює на тактовій частоті 16 МГц. Отже, 16 МГц зовнішній генератор був доданий між контактами 9 і 10 із двома заземленими конденсаторами по 22 пФ з цих шпильок (контакти).

Інтерфейс мікроконтролера Atmega328 із РК-модулем

РК-модуль було підключено у 4-бітовому режимі, як показано на малюнку 3.23. LCD

Модуль має 16 контактів, функції яких показано наступним чином:

1. Контакт 1 (VSS): подає живлення низької напруги (0 В) на РК-дисплей.

2. Вивід 2 (VDD): подає живлення високої напруги (5 В) на РК-дисплей.
3. Контакт 3 (VO): використовується для налаштування контрастності РК-дисплея.
4. Контакт 4 (RS): надсилає інструкції (якщо встановлено високий рівень) або дані (коли встановлено низький рівень) на РК-дисплей.
5. Вивід 5 (R/W): записує на LCD (якщо встановлено низький рівень) і читає з LCD (коли встановлено високий рівень).
6. Контакт 6 (E):цей контакт надсилає сигнали на РК-модуль для обробки інструкцій.
7. Вивід 7-14 (D0...D7): його функція полягає в надсиланні даних у двійковій формі на або з LCD.
8. Вивід 15 (анод): забезпечує високу напругу (5 В) для підсвічування РК-дисплея.
9. Вивід 16 (катод): забезпечує низьку напругу (0 В) для підсвічування РК-дисплея.

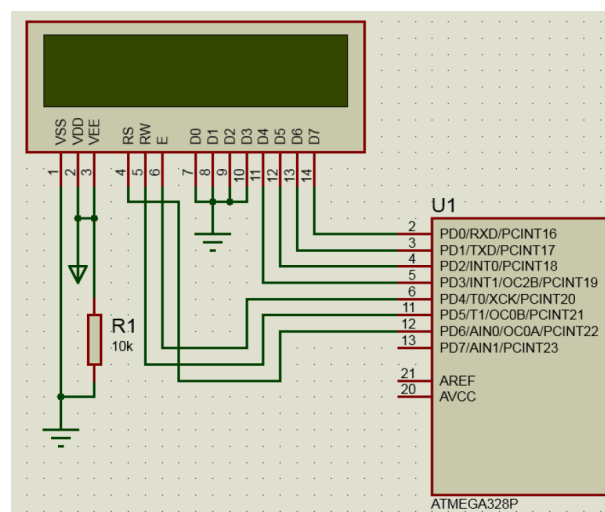


Рисунок 2.18: РК-інтерфейс до мікроконтролера ATmega328

Контакт 16 був заземлений через резистор 100 Ом. Для регулювання контрастності РК-дисплея використовувався резистор 10 кОм підключений до контакту 3 РК-дисплея, а потім був заземлений.

Таблиця 3.5 показує відображення контактів LCD до мікроконтролера ATmega328. Це показує, як контакти від LCD були підключені до мікроконтролера для досягнення очікуваного результату.

Таблиця 3.5: Відображення контактів LCD/ATmega328

LCD	ATmega328
-----	-----------

Пін 4	PD 6
Пін 5	PD 5
Пін 6	PD 4
Пін 11	PD 3
Пін 12	PD 2
Пін 13	PD 1
Пін 14	PD 0

2.6.1 Інтерфейс GSM SIM800L

Інтерфейс GSM SIM800L до мікроконтролера ATmega328 GSM SIM 800L був безпосередньо пов'язаний із мікроконтролером ATmega 328 трьома коонтактами; передавач, приймач і земля.

На малюнку 2.19 показано GSM SIM800L інтерфейс з мікроконтролером ATmega328.

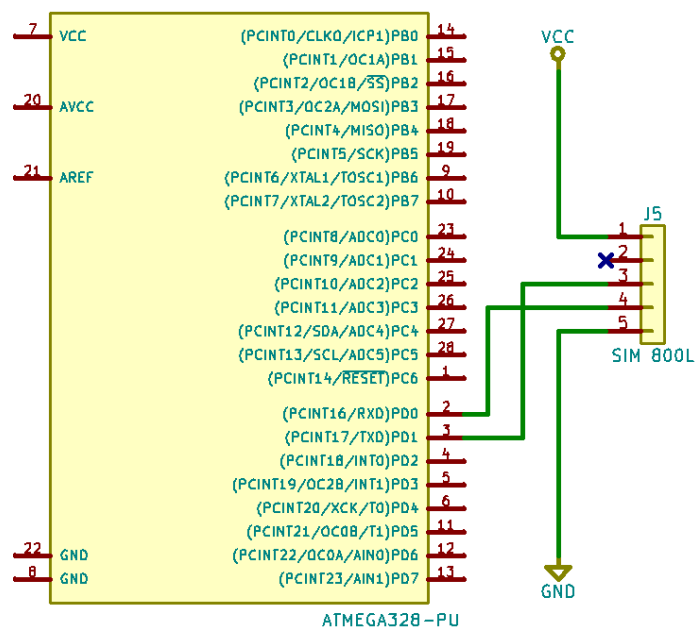


Рисунок 2.19:

Інтерфейс GSM SIM800L до мікроконтролера Atmega328.

Вивід 2 мікроконтролера був підключений до виводу 4 GSM, тоді як вивід 3 з мікроконтролером був підключений до контакту 3 GSM. Нарешті пін 1 GSM був підключений до джерела напруги 5 В, а контакт 5 був заземлений.

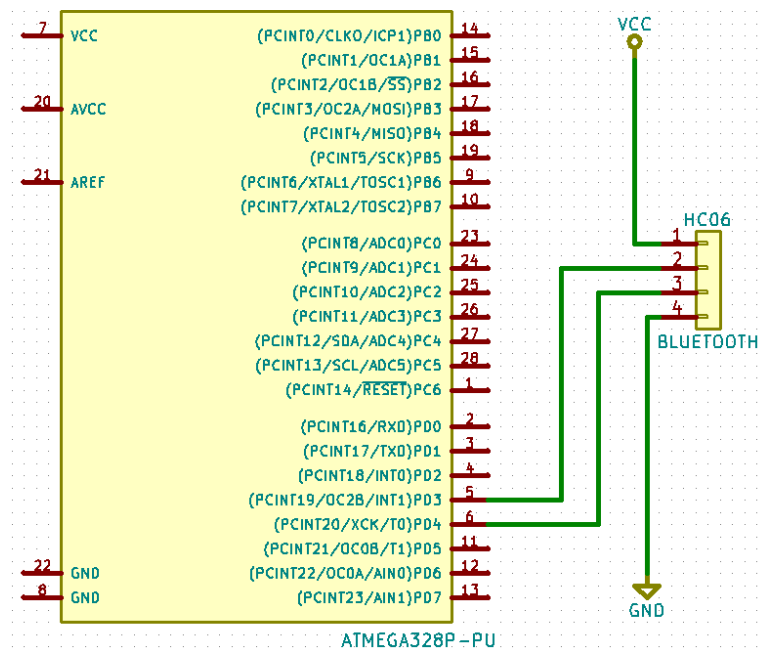


Рисунок 2.20: Інтерфейс Bluetooth до мікроконтролера ATmega328

На малюнку 3.25 показано схеми підключення модуля Bluetooth до мікроконтролера ATmega328. Вивід 5 мікроконтролера був підключений до виводу 2, тоді як контакт 6 було підключено до контакту 3. Нарешті контакт 1 було підключено до джерела 5 В, а контакт 4 було підключений до землі.

2.6.2 Інтерфейс датчика DHT11 до мікроконтролера ATmega328

На малюнках 2.21 і 2.22 показано інтерфейс DHT11 до мікроконтролера Atmega328 і конфігурація контактів для DHT11. Джерело живлення для DHT11 забезпечується адаптером 5 В системи. Для фільтра живлення один конденсатор номіналом 104 нФ було пов'язано з Vcc і заземлено. Датчик використовує зв'язок через послідовний інтерфейс. Для передачі даних і процесу синхронізації між датчиком і мікроконтролером використовується однопровідна техніка передачі даних, що знижує її вартість.

Однопровідна лінія підключається через резистор до джерела живлення. Отже, лінія дорівнює 5 В, якщо немає заряду. Схема комунікації складається з трьох етапів: запит, відповідь та зчитування. Повний потік даних має 40 біт, а вищий біт даних надсилається першим. формат: 8 біт RH + 8 біт RH + 8 біт T + 8 біт T + 8 біт SUM. Якщо передача даних правильна, сума дорівнює останнім 8 бітам "8 біт

$RH + 8 \text{ біт } RH + 8 \text{ біт } T + 8 \text{ біт } T$ ", де RH і T - відносна вологість і температура відповідно.

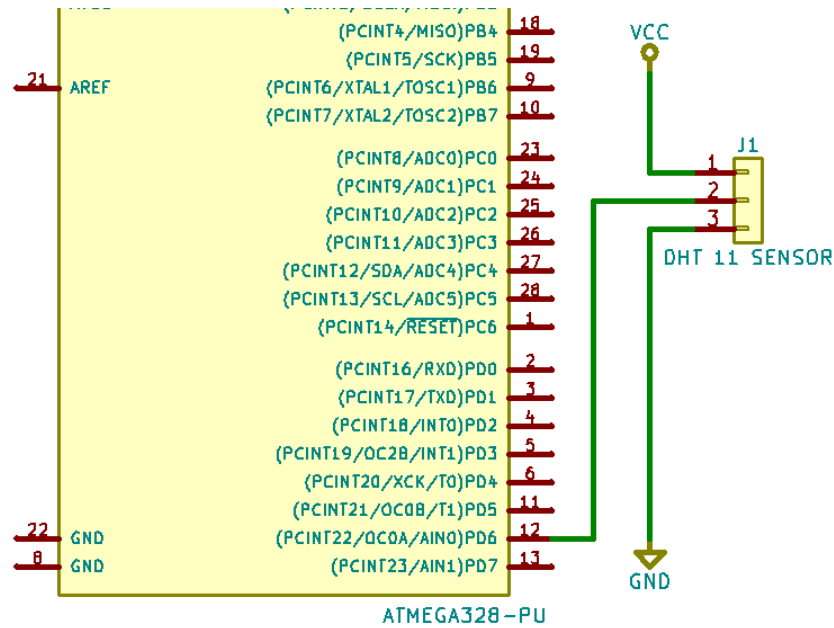


Рисунок 2.21: Інтерфейс датчика DHT11 до мікроконтролера ATmega328

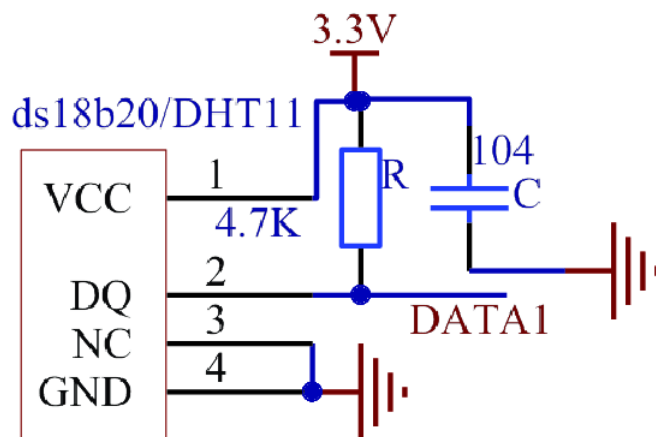


Рисунок 2.22: Конфігурація контакту для датчика DHT11

2.6.3 Інтерфейс датчика LDR до мікроконтролера ATmega328

Датчик LDR має три контакти (GND, VCC і OUT) і працює під напругою 5 В. LDR датчик був підключений до мікроконтролера ATmega328, як показано на малюнку 2.23. Одна шпилька датчика була виведена до землі, а інші – до аналогового виводу 0 мікроконтролера. Резистор на 10 кОм також був підключений до того ж контакту. Джерело живлення (VCC). Оскільки LDR видає аналогове значення, його було пов'язано з аналоговим входом на мікроконтролері. Тоді

мікроконтролер з його АЦП перетворює аналогову напругу в цифрову величину.

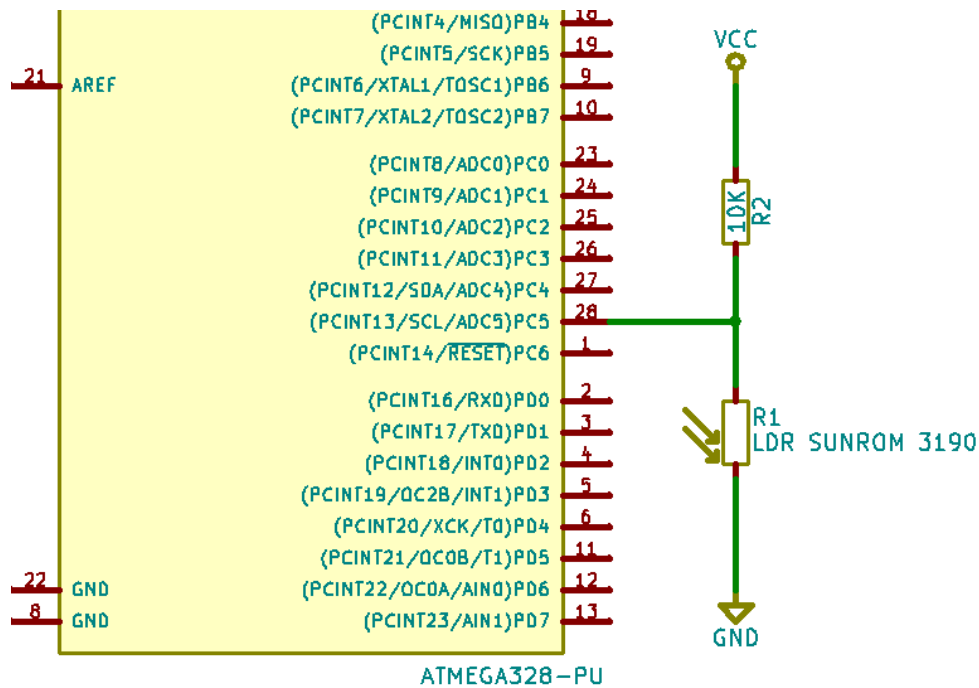


Рисунок 2.23: Інтерфейс датчика LDR до мікроконтролера ATmega328

2.6.4 Інтерфейс релейного модуля до мікроконтролера ATmega328

На малюнку 2.24 показано, як плата 4-канальних реле 5 В була інтерфейсом до ATmega328 мікроконтролера.

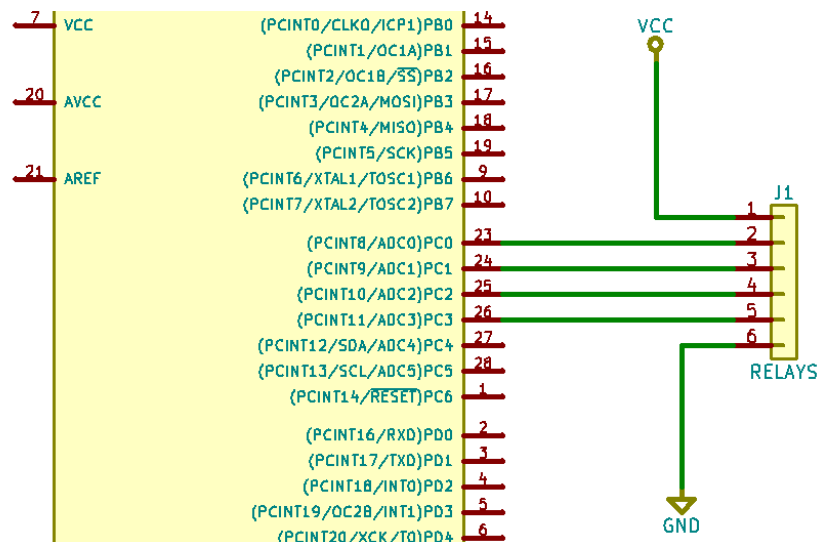


Рисунок 2.24: Інтерфейс реле до мікроконтролера ATmega328

Контакти 2, 3, 4 і 5 інтерфейсної плати реле були підключені до контактів 23, 24, 25 і 26 мікроконтролера, тоді як контакти 1 і 6 були підключені до джерела живлення та землі.

2.7. Висновок до розділу

У цьому розділі було обрано датчики для зчитування даних клімату, які були підключені до мікроконтролера. Впроваджено технології віддаленого керування зі смартфона.

Було обрано наступні компоненти.

1. Датчик світлозалежного резистора (LDR) використовувався для вимірювання інтенсивності світла
2. датчик DHT11 використовувався для вимірювання вологості та температури теплиці.
3. Датчики, реле, GSM і Bluetooth були підключені до мікроконтролера.

Прототип тепличної системи здатний: вимірювати рівні температури, рівні вологості та освітлення в теплиці, відображати значення, передавати дані на телефон власника через Bluetooth або модуль GSM і підтримувати ці параметри на оптимальному рівні за допомогою вентиляторів, нагрівача, і спринклера.

3. Стартуп проект

3.1. Розробка стартуп проекту

Призначення стартуп проекту є пошук та аналіз інформації, яка передбачає різні фактори, ризики, можливості для втілення проекту. В цьому розділі є певний покроковий алгоритм план складових етапу, можливості продажу та реалізації системи. Актуальність ідеї, ринок збуту та інше

3.2. Опис ідеї розробленої системи теплиці

В даний час в різних галузях різко зростає попит на автоматизацію різних систем, що породжує економію часу та покращення отримання результату при мінімальному затраті фізичної праці людини.

Щоб досягнути поставлених задач необхідно пошук інформації, всіх можливих сучасних систем та правильний аналіз на основі отриманих даних. Покращення існуючих систем контролю вологості повітря, ґрунту. Технологія освітлення харчових культур(для кожного сорту рослин розраховане найкраще оптимальне освітлення), контроль рівня CO₂ в окремих ячееках теплиці та . Також правильно побудований та розрахований алгоритм автоматичного збору інформації характеристик мікро-клімату, аналізу з показників датчиків. Прийняття певних рішень та керування системи мехатронної теплиці. А саме контроль температури, вологості повітря та ґрунту, різне освітлення для певних видів рослинних культур (для кожного сорту рослин розраховане найкраще оптимальне освітлення), а також рівень CO₂.

В цьому розділі здійснено аналіз системи в напрямку доцільності застосування, різниця від існуючих видів тепличних систем. Ідея розробленої системи

- Використання в галузях вирощування культур
- Перспектива для власника системи

Таблиця 3.1 Перелік змісту ідеї проекту

Зміст ідеї	Використання в галузях вирощування культур	Перспектива для власника системи
Презентована модернізована система мехатронної теплиці з мікрокліматами для різних видів вирощувальних культур. Покращує ефективність праці в цій сфері діяльності	Тепличні господарства(Для бізнесу) Для власних потреб (домашня теплиця)	Забезпечує мінімальну затрату часу та найкращий отриманий результат врожаю. Власний натуральний продукт без шкідливих добавок. Отримання врожаю в інші сезони, що підвищує їх вартість на ринку та отримання прибутку з проекту Економія людської праці, часу обслуговування системи та культури.

На основі отриманої інформації бачимо висновок. Проект актуальний для людей, які зацікавлені вирощувати рослинні культури, не важливо в яких масштабах. Для кожного клієнта розраховується своя вартість побудованої системи, що залежить від її масштабу розмірів. Даний проект є універсальним.

Далі проведемо аналіз ідея характеристики системи в порівнянні з існуючими популярними системами

Таблиця 3.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко- Економічні характеристики	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W слабка сторона	N нейтра- льна	S сильна сторона
		Моя	Chub	Shando	Wuhan			

	ідеї	система	Agrocon cept	ng BsVilla	Acme AgroTech		сторона	
1	Вартість одного пристрою(дол.)	100	120	145	280	Відсутні	відсутні	наявні
2	Кількість рослин, що обслуговуються одночасно	дрібна	дрібна	об'ємна	помірне	наявні	відсутні	відсутні
3	Гнучкість рішення	об'ємна	дрібна	дрібна	помірне	відсутні	відсутні	наявні
4	Стійкість рішення	помірне	помірне	об'ємна		відсутні	наявні	відсутні
5	Сумісність з іншими системами	сумісно	не сумісно	не сумісно	сумісно	відсутні	наявні	відсутні
6	Інтелектуальність системи	об'ємна	дрібна	дрібна	помірне	відсутні	відсутні	наявні

З отриманих даних маємо висновок. Мій проект має перевагу в вартості самої системи, також в можливості модернізувати систему, враховуючи нові технології. Сумісно з іншими проектами, що є хорошим плюсом в проекті. Однією з переваг системи автоматизованої теплиці є свій власний підбір комплектуючих та гнучкість в побудові проекту, що до розмірів системи. Ця перевага надає кожному клієнту відштовхуватись від власного бюджету.

З слабких сторін є те що систему потрібно буде з часом вдосконалювати, модернізувати конструкцію та покращувати процес втілення проекту в його побудові. Всі проекти на початку мають недосконалість в їх реалізації, які покращуються з часом.

Для втілення ідеї проекту проведено технологічна можливість її втілення. Відповідає на питання використання певної технології в

проекті, можливість реалізації цих технологій та чи доступ їх в цьому проекті

Таблиця 3.3 Можливість втілення ідеї проекту

№ п/п	Ідея системи	Використання інструментів	Наявність інструментів	Доступ до технологій
1	Система	IoT	+	+
2	автоматичного контролю	Система на основі датчиків	+	+
3	вологості повітря, грунту, освітлення і т.п.	Промислені рішення	+	-

Висновок, на основі отриманих даних. Для розробників інструменти вивчення, аналізу доступні. Реалізація цього проекту на даному етапі можлива. Обрана система на основі стандартних датчиків

3.3. Аналіз ринку, можливість втілення проекту

При втіленні проекту необхідно переглянути попит на даний проект та аналіз конкуренції в цій сфері. На даному етапі визначаємо рентабельність моєї системи. За скільки часу побудований проект може себе відкупити. Прораховується ціна роботи, комплектуючих та інших затрат по відношенню до продажі товару(в нашому випадку рослинні культури)

Рентабельність проекту визначається співвідношенням за формулою:

$$R = \Pi / B_v \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

де Π — валовий дохід від її реалізації, B_v — вартість комплектуючих та послуг на побудову системи

Таблиця 3.4 характеристика попиту проекту на ринку

№	Інформація про стан на	Характеристика
---	------------------------	----------------

п/п	ринку(найменування)	
1	Кількість конкурентів в цій сфері (головних)	6-7
2	Обсяг попиту на рік	30-150
3	Попит товару(оцінка)	Збільшується
4	Обмеження при втіленні проекту (його характер)	Конкуренти, розрахунок покриття інвестицій проекту за певний час.
5	Наявність стандартизації. сертифікатів	Сертифікація продукту при продажі. Вимоги до відсутності, або допустимих нормів певних хімічних складових речовин в продукції ГОСТ 21.208-2013
6	Процентова рентабельність при втілення проекту на ринок	25%, залежить від кількості отриманого врожаю з проекту по відношенню до попиту на ринку

З отриманої інформації проведено аналіз та зроблені висновки. В даній сфері завжди буде попит. Ідея для втілення є привабливою. Є наявність конкурентів, але відсоток рентабельності досить високий, проект має позитивну оцінку для реалізації. Специфікація товару з часом змінюється, з'являються нові вимоги до стандартів продажу продукції, доповнюється з часом

Наступна дія є аудиторія попиту на ринку, їх групи. Зацікавлення клієнтів отримати даний проект та втілити його. Вимоги для всієї аудиторії відрізняються

Таблиця 3.5 Аналіз попиту клієнтів, та його характеристика

№ п/п	Необхідність, попит ринку	Аудиторія попиту	Різниця між аудиторією попиту (надання переваг)	Побажання або поставлені обов'язкові вимоги до товару
1	Зниження витрат	Тепличні,	Налагодження	Налагоджений

	на промислових підприємствах	сільськогосподарські підприємства	працездатності автоматизованої системи. Здешевлення за рахунок великих масштабів	процес системи, . Чітка домовлена ціна за впровадження проекту. Нижча ціна від пропонованої конкурентами
2	Збереження часу	Клієнт проекту (фіз. лиц.)	Готовий продукт до використання з всіма вирішеннями всіх поставлених задач	Якість товару Можлива послуга підтримання системи під час його використання. Правильні розрахунки для отримання бажаного результату (вважаю)

З отриманих результатів одержуємо висновок. Система є в попиті на ринку, перша причина, яка формує її - фізіологічна потреба суспільства бути нагодованим. Вимоги, які формують потребу — якісний харчовий продукт за найменшу запропоновану ціну. Потреба цього проекту здійснюється за отримання найбільшого прибутку з найменшим інвестиційним вкладенням в проект. Попит проекту/системи в конкретній компанії формує нижча вартість проекту від потенційних конкурентів. Також найкраща якість товару(комплектуючих для зборки) та надання послуг до них. Мають місце правильне налагодження системи та розрахунки до них.

Можливість реалізації проекту на ринку відіграє важливу роль. Виходячи на ринок необхідно розглянути можливі загрози(проблеми), які можуть з'явитись при реалізації ідеї. Розглянемо можливі варіанти.

Таблиця 3.6 Можливі негативні фактори при реалізації ідеї(загрози)

№ п/п	Фактор	Характер фактору	Можлива дія компанії в даній ситуації
1	Конкренти	Перевищення товару чим попиту, велика кількість конкуренції	Краще виконувати свою роботу чим конкуренти. Пропонувати кращий товар за певну ціну
2	Старіня системи	Впровадження на ринку кращого, модернізованого проекту	Постійне вивчення нової інформації в даній сфері, впровадження нової модернізованої системи
3	Падіння попиту товару	Відсутність попиту клієнтів на дану продукцію	Реклама, маркетинг. Проведення нового аналізу дослідження цієї продукції, що буде попит
4	Ціни комплектуючих	Залежить від стану ринка(його економіки), підвищення цін на товар для збору системи	Впровадження альтернатив постачальників або інших комплектуючих для системи
5	якість	Погіршена якість роботи при збирані проекту/системи (залежить від працівників)	Відмова компанії вирішити проблему клієнта, або при її впровадженні отримання збитків, додаткових затрат

З отриманої інформації зроблено висновки. Для отримання кращого результату потрібно знати та постійно перевіряти різні фактори, які можуть загрожувати чи загрожують для реалізації впровадження проекту на ринку. На мій розсуд найбільшою загрозою є фактор попит товару(самої системи) по відношенню його ціни.

Таблиця 3.7 Можливості проекту

№ п/п	Фактор	Характер фактору	Можлива дія компанії в даній ситуації
1	Зростаючий попит на проект	Розвиток плану на розширення надання послуг. Зниження цін	Вдосконалення пропонованого проекту, його модернізація
2	Підвищення зарплати в потенційних клієнтів	Зростаюча ціна	Відкриття нових можливостей для компанії
3	Попит на рослинну продукцію в населення	Зростання продажів	Зростання к-ті проданого товару за певний сезон
4	Появлення сучасних нових ідей/технологій	Старіння системи	Вивчення та вдосконалення проекту

При появі нових технологій можливостей завжди буде попит на покращену продукцію. Покращення, вдосконалення автоматизації системи відіграє найважливішу роль для реалізації цього проекту.

Таблиця 3.8 Аналіз пропозицій товару на ринку

№ п/п	Тип конкуренції	Характеристика	Можлива реакція компанії
1	Олігополія	Різні конкуренти вирішують частинні проблеми продукту	Моніторинг якості комплектуючих, сумісність з іншими системами конкурентів
2	Національний	Актуальність без геопозиції	Розширення аудиторії попиту незалежно від локації
3	Міжгалузева	Логістика, використання сучасних інструментів та	Налагодження логістики та взаємозв'язків між

		технологій	компаніями для реалізації проекту
4	Асортимент товару	Конкуренція між подібними системами	Покращення надання послуг в усіх напрямках
5	Ціна	Різна ціна на схожий товар	Нижча пропонована ціна на ринку
6	Марочна	Відгуки про компанію в інтернеті та в інших джерелах	Надання якісних та швидких послуг

З даних в таблиці маємо покроковий аналіз ринку. Важливу роль має якість обслуговування, пропонована ціна за певний товар, швидкість надання послуг та репутація компанії. З часом потрібно робити аналіз конкурентів, відштовхуючись від цих показників

Проаналізуємо конкуренцію на ринку за методом М. Потером

Таблиця 3.9 Конкуренція за розрахунком методом М. Потером

Прямі конкуренти	Можливі конкуренти	Постачальники товару	Покупці	Аналоги
Найменування компаній	Бар'єр входу	Можливі вимоги постачальника	Фактор сили клієнта	Конкуренція в подібних проєктів
Chub Agroconcept, Shandong Bs-Villa, Wuhan Acme Agro-Tech, microchipSH, Fujikura, LoRaWAN	Сертифікація товару, рейтинг компанії, хороша реклама та маркетинг	Рідко ставлять свої вимоги	Низька ціна відносно конкурентів, висока якість товару	Бренд компанії (довіра відомому представнику товару)

На ринку присутня конкуренція, але можлива реалізація проєкту за рахунок попиту на товар. Багато компаній комфортно відчують себе на ринку, закріпивши свої позиції. Маркетинг та реклама сильно

впливають на аудиторію попиту, але це коштує значно більше. Клієнт для себе вже сам вибирає враховує свої власні побажання.

Таблиця 3.10 Робимо аналіз можливості конкурентів

№ п/п	Характер можливостей	Аналіз. Проведення певних дій для покращення свого проекту
1	Сумісність проекту	Різноманітність вибору датчиків та інших вузлів в системі
2	Ціна	Найкраще співвідношення ціни до якості товару
3	стандартизація	Можливість використання системи з іншими аналогами
4	Комунікація	Інформаційна та технічна підтримка компанії до клієнта
5	Рейтин, позиція на ринку	Позитивні відгуки від клієнтів та маркетинг впливають на позицію компанії на ринку

Вище представлено п'ять позицій які впливають на можливість конкурентів триматись на ринку. Важливішим фактором є рейтинг компанії, все інше йде як допоміжні пункти

Зробимо аналіз для порівняння оцінок позитивних та негативних сторін конкурентів по відношенню до мого проекту. Таблиця 3.11

№ п/п	Фактор можливості конкурентів	Оцінка (0-20)	Мій проект, власний рейтинг в порівнянні з конкурентами						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Стандартизація комплектуючих (сумісність з аналогами)	15	2		1,3	4	5		
2	Ціна на ринку	19	2,3	3					
3	Універсальність всієї системи	18	1,2		2	4		3	
4	Комунікація з	17			1	3		2,4	2,3

	клієнтом								
5	Рейтинг компанії	14				3			

Тут представлено список компаній, які використовувались в порівнянні

1. Chub Agroconcept
2. Shandong Bs-Villa
3. Wuhan Acme Agro-Tech
4. microchipSH

Існує ще один метод SWOT-аналіз стартапу яких має чотири характеристики SWOT аналіз. Таблиця SWOT 3.12 аналізу

Позитивні характеристики: • Стандартизація системи • Сумісність обладнання з системою конкурентів • Цінова політика	Негативні характеристики: • Відсутність рейтингу при виході на ринок • Складність налагодження працездатності всіх аспектів
Можливі дії: • Підвищення цін на обслуговування системи • Зниження цін на технологій за рахунок розвитку	Загрози: • Висока конкуренція з подібними компаніями • Присутність відмінної якості товару • Залежність від економічного стану ринку • Неозначні закони в даній сфері

Щоб бути конкурентноспроможним необхідно бути готовими до появи загроз в продажі проекту та мати можливість в їх рішеннях. З проведеного аналізу бачимо, проект має невелику кількість слабких сторін, але існує певна кількість загроз, які можуть в подальшому вплинути на реалізацію продажу проекту. Слабкі сторони вирішуються розумною побудовою плану реалізації продажу проекту на всіх його етапах.

Здійснюючи покроковий план втілення проекту може змінитись поведінка на ринку. Необхідно передбачити можливі варіанти, які можуть впливати на подальшу гру. Альтернативні рішення проблем при появі певних умов.

Таблиця 3.13 Альтернативні дії втілення проекту

№ п/п		Можливість залучити інвесторів та інших ресурсів	Термін для втілення
1	Пошук альтернативних комплектуючих для системи	Логістичні перевезення займають 120 годин після замовлення	3 місяців
2	Пошук нових постачальників комплектуючих для системи	Логістичні питання залежать від локації	Приблизно 6 місяців

При впровадженні альтернативи важко буде для деяких вузлів системи впровадити за короткий термін в експлуатацію. Тому найкращим варіантом буде пошук нового постачальника на ту ж саму продукцію, або максимально наближену

3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 3.14 Зображення розвитку плану охоплення потенційної аудиторії ринку

№ п/п	Наймовірна цільова аудиторія споживачів	Ймовірність придбати продукт	Попит аудиторії сегменту	Вплив конкурентів на потенційного клієнта	Складність реалізації сегменту
1	Для власних потреб	Помірний	Малий	Присутня	Помірна
2	Сільськогосподарські підприємства	Великий	Великий	Присутня	Значна
3	Власники тепличних ферм	Великий	Великий	Відсутня	Помірна

З цих даних вибрано власники тепличних ферм. Висока ймовірність обраної категорії придбати даний продукт, в інших категоріях необхідно провести додаткову роботу, як налаштування продажу для цих категорій та впровадження реклами та маркетингу

З проведеного аналізу вище вибрана потенційна категорія, яка вже готова прийняти готовий продукт для його використання. При цьому мають місце інші категорії, але вони потребують додаткових дій для подальшого просування товару під ці категорії аудиторії на ринку.

Наступний крок є формування основної стратегії розвитку

Таблиця 3.15 Стратегія розвитку

№ п/п	Альтернативне рішення просування ідеї	План закріплення компанії	Основні позиції відігравання конкуренції на ринку	Основна стратегія
1	Альтернативна зборка проекту (інші комплектуючі)	Швидке вивчення всіх аспектів (нюансів) для виходу та просування товару на ринку	Пошук найкращих варіантів комплектуючих. Їх якість та ціна. Хороший алгоритм системи праці компанії	Оптимізація затрат на виготовлення системи

Для цього проекту було обрано просування лідерства в системі оптимізації витрат на просування товару. Ця стратегія відіграється за допомогою найкращого розрахунку цін на певний товар та затрати компаній на реалізацію їх ніж в інших конкурентів, а також найбільшої кількості проданого товару за певний час. Співвідношення собівартості пропонованого товару до середнього значення ціни на ринку. Для отримання очікуваного результату від цієї стратегії необхідно застосовувати ефект масштабу при наявності потрібного досвіду до нього.

Подальша дія полягає в формуванні плану конкурентної поведінці

Таблиця 3.16 План конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є мій проєкт іноваційним?	Знаходження нових клієнтів чи відвойовуван ня їх в конкурентів?	Введення, модернізація нових технологій чи копіювання існуючих?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Обоє з варіантів	Обоє з варіантів	Стратегія виклику лідера

Аналізуючи даний проєкт вибрано стратегія виклику лідера. Це ризикова дія для компанії, але при отриманні очікуваних результатів компанія стає однією з лідерів продажу певного товару на ринку. Метод полягає в відвоюванні часткової або повної частини ринку в продажі зазначеного товару. Найчастіше ця стратегія просувається через враження слабких сторін головного лідера(конкурента)

Стратегія позиціонування визначається в вимогах клієнтів з певними сегментами до потачальників (також до товару). Має місце основна стратегія росту та стратегія конкурентної поведінки

Таблиця 3.17 Стратегія позиціонування

№ п/п	Вимоги клієнта	Основна стратегія росту	Базові сегменти конкурентноспро можності проєкту	Основні сили для закріплення позицій
1	Низька вартість товару	Стратегія лідерства по витратам	Низька ціна пропонованого товару та в закупівлі комплектуючих	Низька вартість, сумісність з аналогами
2	Надання послуг		Оптимізований процес надання послуг з хорошим побудованим його алгоритмом	

3	Сумісність з аналогами		Сумісність(стандартизація) з товаром інших компаній	
4	Якість товару		Довгостроковий час використання товару з найменшим затратом часу на його обслуговування	

Перевагами є низька вартість товару, сумісність з аналогами інших компаній, якість надання послуг та якість самого товару.

Маркетингова програма стартап проекту

Для цього пункту першочерговим є побудова маркетингової концепції товару, що має клієнт. В таблиці нижче наведено основні сторони концепту потенційного товару та його рівні

Таблиця 3.18 Маркетингова програма

Рівень	Сенс та складові		
1. Товар, як ідея	Чим більше пропозицій, тим дешевше товар на ринку. При цьому товар сумісний із запропонованими аналогами на ринку. Низька кількість не закритих запитів на товар(потенційних покупок). Швидке обслуговування та якість		
2. Товар як початкове просування на ринок	Характер товару	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Частота мікропроцесору	Нм	Вр/Тх
	2. Швидкість опрацювання	Нм	Тх
	3. Надійність	Нм	Тх
	4. Стійкість	Нм	Тх
	5. Габарити	Нм	Вр/Тх
	6. Універсальність	Нм	Тх /Тл
	7. Безпечність	Нм	Вр/Тх
Однією з сторін якості відображає сертифікація товару, оформлення патенту на даний проект			

	Упаковка товару, його опис інструкція використання та інше відповідає вимогам законодавства. Вказана необхідна допоміжна інформація
	Марка: електро-мехатронна теплиця
3. Товар з закріпленою позицією в рейтингу ринку	Виробник при бажанні клієнта надає певну можливу інформацію що до товару з врахуванням можливих сумісностей з його аналогами
	Після продажу компанія при бажанні проводить інтеграцію системи. Надання послуг встановлення товару та пояснення документації

При наявності патенту на цей проект буде відсутня можливість плагіату згідно з правовим та державним законом про захист прав винахідників

Розрахуємо цінвий діапазон надання послуг та продажу товару, з врахуванням цін пропонованих конкурентами на аналогічний товар та послуги

Таблиця 3.19 Діапазон цін надання послуг та продажу товару

№ п/п	Пропозиція конкурентів на аналоговий товар	Пропозиція конкурентів на товар замітник	Дохід цільової аудиторій покупців	Діапазон межі встановлених цін
1	400-5000	300-2500	130000	250-600

При продажі більшої кількості товару за назначений термін з'являється можливість знизити ціну на цю продукцію. В порівнянні з аналогами та заміниками ціна є помірно меншою.

Оптимальна система збуту, подальші рішення

Таблиця 3.20 Побудова системи збуту

№ п/п	Фактор впливу на поведінку купівлі товару у споживача	Функція збуту	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Низька ціна висока якість товару та надання допоміжних послуг	Створення потреби на даний товар. Пошук потенційних клієнтів та підтримання зв'язку з ними	Виробник - торговець 1-й рівень	Вплив виробника до компаній з пропонуваним товаром

Для цього проекту на мій розсуд найкраще обрати допоміжний канал збуту, саме продаж товару як посередник між потребою та виробником, що полегшує працю надання товару попиту та значна відсутність додаткових потреб обслуговування. Споживач купує в посередників, а виробник виграє за рахунок продажу товару оптом.

Кінцевим кроком є побудова маркетингової комунікації, що відштовхується від базового позиціонування та фактор впливу на поведінку споживача

Таблиця 3.21 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Зв'язок комунікації для споживача	Базові позиції обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Налагодження виробництва, пониження цін	Власний сайт, розміщення сторінок в різних соц. мережах	Доступність, хороше налагодження системи, можливість модернізації	Зображення найкращого варіанту товару в порівнянні пропонуваними конкурентами	Універсальність товару, низька вартість

В даному пункті було зображено завдання рекламних повідомлень та його концепцію

Висновок до розділу стартап-проект

Пропозиція модернізованої системи мехатронної теплиці на основі органів чутливості дешевих датчиків та мікроконтролера, запрограмованого підтримувати систему відносно зовнішніх факторів впливу.

В цьому розділі зроблено аналіз актуальності ідеї для втілення її на ринок. Товар має постійний попит, динаміка ринку зростає. Актуальність втілення в цій сфері більша за ставку депозиту.

При цьому втілення проекту для продажу досить складно. Причиною є значна конкуренція певних фірм, які займають високі місця в рейтингу ринку.

Аудиторія попиту відрізняється, тому під певну групу аудиторії збирається свій власний проект(система) під бюджет споживача. Націлена аудиторія є власники тепличних ферм. Ця група потребує найменше вкладень для втілення проекту як готова система. При цьому інші групи теж актуальні, але потребують більше часу для реалізації. Показник входу сегменту має середній рівень.

Підбір комплектуючих налаштований на універсальність системи, що дає сумісність з іншими аналогами товару, які пропонують конкуренти

З часом система буде модернізуватись для покращення та спрощення її роботи. Алгоритм ведення продажу буде покращуватись та мати кращу оптимізацію.

Висновок

Теплична промисловість набула широкого поширення майже у всіх частинах планети. Якісні харчові культури потребують багато часу та різних додаткових ресурсів. Щоб задовільнити цю потребу постійно покращують технології вирощування культур в автоматизованих теплицях. Цей проект був спрямований на рішення цього питання.

У цьому дослідженні було проведено аналіз факторів впливу на клімат в теплицях. А саме дослідження спиритливого спектру сонячної радіації та аналогове світлодіодне освітлення для них. Було досліджено класифікація та методи розрахунку ET для різних видів теплиць, які найчастіше використовувалися в попередніх дослідженнях. Крім того, було описано вибір моделей ET для обмежених кліматичних даних.

Розроблено систему керування кліматом теплиці на основі вибраних датчиків та мікроконтролера ATmega328. Система теплиці вміє вимірювати рівні температури, вологості та освітлення. Також застосовано технологію відображати та передавати дані користувачу через Bluetooth або модулів GSM. Вміння тримати задані оптимальні параметри мікроклімату в теплиці за допомогою вентиляторів, нагрівача, і спринклера.

Попит цього проекту на ринку досить високий на основі проведеного аналізу в розділі стартап-проекту. При цьому втілення проекту для продажу досить проблематично. Причиною є велика конкуренція певних фірм, що займають високі місця в рейтингу. Аудиторія попиту має декілька груп, тому для кожного користувача збирається власний теплиця під домовлений розмір.

Підбір комплектуючих налаштований на універсальність системи, що допоможе надати сумісність з іншими системами, які пропонують конкуренти. З часом проект буде покращуватись для отримання вищого результату.

Список використаної літератури

1. Корпорація Arduino. (2013). Arduino: корпорація Arduino. 2013 від Arduino Corporation
2. Аугартен, С. (1983). Найпоширеніший комп'ютер на мікросхемі: TMS 1000. Сучасний стан: фотографічна історія інтегральної схеми. Нью-Йорк: Ticknor & Fields.
3. Дабаді, Х. (2003). Трансфер технологій: розбудова потенціалу та приватний сектор Непал. Нью-Йорк: ООН.
4. Фрейден, Дж. (2010). Довідник із сучасних сенсорів: фізика, конструкції та застосування.
5. Рана, Х., Алі, Ф., і Муфед, Т. (2013). Бездротова система моніторингу та управління для теплиці. Міжнародний журнал комп'ютерних наук і мобільних комп'ютерів
6. Pushkar, M., and Aney, D. (2016). Система моніторингу та контролю теплиць на основі мікроконтролера PIC. Міжнародний журнал перспективних досліджень у галузі електротехніки, електроніки та приладобудування
7. Плаксіна, О., і Рауш, Т. (2005). Розробка тепличного клімату на основі KNX КОНТРОЛЬ. Журнал Віденського технологічного університету, Інститут технології комп'ютерів
8. Хухо, Дж., і Косоней, Р. (2010). Розуміння екстремальних кліматичних явищ. Журнал науки про навколишнє середовище, токсикології та харчових технологій
9. Annon. 2005. Типи теплиць. Новий Південний Уельс: Департамент початкової школи
10. Baille M, Baille A, Laury JC. 1994. Спрощена модель для прогнозування евапотранспірації. Співвідношення дев'яти декоративних видів із кліматичними факторами та листям. Акта Хорт. (ISHS)
11. Baille M, Laury Jc, Baille A. 1992. Деякі порівняльні результати евапотранспірації. Тепличні декоративні культури, використання лізіметра, теплиця H20 Датчики балансу та LVDT. Акта Хорт. (ISHS) 304.

12. Yang X, Fox R, Bauerie W. 1990. Танспірація, температура листя та резистентність продихів тепличного врожаю огірків. Сільськогосподарська та лісова метеорологія
13. Tanny J, Cohen S, Elmowitz D, Grava A, Haijun L. 2006. Вимірювання та прогнозування евапотранспірації в Banana Screenhouse. Акта Хорт.
14. Jigang, L., Gang, L., та інші, 2011, Фітохромні сигнальні механізми, Книга Arabidopsis / Американське товариство біологів рослин,
15. Hogewoning, S.W., Douwstra, P. та інші, 2010, Штучний сонячний спектр істотно змінює розвиток рослин порівняно зі спектрами опромінення кліматичних кімнат, Journal of Experimental Botany,
16. Солсбері, F.B., 1996, Розділ 9: Електромагнітне випромінювання, одиниці, символи та термінологія для рослин. Фізіологія: довідник для представлення результатів досліджень рослинництва
17. Yamamoto, H.Y., Bassi, R., 2006, Розділ 30: Каротиноїди: Локалізація та функція. Кисневий фотосинтез: The Light Reactions, Springer Science & Business Media.