

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ГРИСЮК Олег Петрович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ / AUTOMATED
CONTROL SYSTEM OF MICROCLIMATE IN GREENHOUSE

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
О.П. Грисюк

Науковий керівник:
к.т.н., О.М. Заставний

Магістерську роботу допущено до захисту:

" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2022

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"

спеціальність:151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
"_____" _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ГРИСЮК Олег Петрович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована система керування мікрокліматом теплиці / automated control system of microclimate in greenhouse.

керівник роботи к.т.н., О.М. Заставний
затвержені наказом по університету від 31 грудня 2021 р. № 606

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

16 листопада 2022р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Механізми функціонування тепличних господарств.
- 2 Структура системи мікроклімату теплиці
3. Процеси збору й обробки інформації в автоматизованих системах.
4. Технічні засоби моніторингу температури та вологості
5. Технології передачі даних в автоматизованих системах

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Дослідження автоматизованих систем моніторингу мікроклімату тепличних господарств.
- 2.Проектування автоматизованої системи моніторингу та керування мікрокліматом теплиці.
3. Забезпечення керування кліматичними установками.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема системи керування мікрокліматом теплиці
2. Структурна схема модуля збору даних
3. Структурна схема модуля керування кліматичною установкою
4. Модуль керування кліматом. Схема електрична принципова

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів та засобів керування мікрокліматом в теплиці	12.2021р. – 02.2022р.	
2	Проектування автоматизованої системи моніторингу та керування мікрокліматом	03.2022р. – 06.2022р.	
3	Розроблення модулів системи та дослідження роботи системи	07.2022р. – 11.2022р.	

Студент

_____ (підпис)

О.П. Грисюк

Керівник роботи

_____ (підпис)

к.т.н., О.М. Заставний

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 65 сторінках та містить 37 рисунків, 3 додатки, 23 джерела за переліком посилань.

Мета кваліфікаційної роботи. Дослідження шляхів оптимізації автоматизованого керування мікрокліматом в теплиці.

Результати роботи. Реалізовано автоматизовану систему контролю та керування мікрокліматом теплиці, що забезпечує моніторинг вологості та температури різних ділянок теплиці, обробку даних та керування системами осушення, обігріву та охолодження. В системі передбачено архівування даних, що дозволяє проводити аналіз поведінки системи, порівнювати отримані результати з бажаними, аналізувати енергозатрати даних операцій та виробляти ефективні алгоритми керування.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Запропонована система моніторингу та керування забезпечує максимальну автоматизацію процесу збору та обробки даних для здійснення аналізу та керування мікрокліматом теплиці. Що дозволяє максимально ефективно керувати витратами енергоресурсів при отриманні максимально якісного результату, а також дозволяє мінімізувати вплив людського фактору на керування мікрокліматом. Таким чином система може бути ефективно використана для формування мікроклімату в тепличних та інших господарствах.

Ключові слова: АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, МІКРОКЛІМАТ, КОНТРОЛЬ, ВОЛОГІСТЬ, ОСУШЕННЯ.

ABSTRACT

Work is executed on 65 pages and including 37 illustrations, 3 additions, 32 sources after the list of references.

The purpose of the qualification work. Research on ways to optimize automated microclimate control in a greenhouse.

Research results. An automated greenhouse microclimate control and management system has been implemented, which provides monitoring of humidity and temperature of different areas of the greenhouse, data processing and management of the drying, heating and cooling systems. The system provides for data archiving, which allows you to analyze the behavior of the system, compare the obtained results with the desired ones, analyze the energy consumption of data operations and produce effective control algorithms

Recommendations for the use of work results: The proposed monitoring and control system ensures maximum automation of the process of data collection and processing for analyzing and managing the microclimate of the greenhouse. That allows you to manage energy costs as effectively as possible while obtaining the highest quality result, and also allows you to minimize the influence of the human factor on microclimate management. In this way, the system can be effectively used to create a microclimate in greenhouses and other farms.

Keywords: AUTOMATED SYSTEM, CONTROL, MICROCLIMATE, HUMIDITY, DRYING.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦІ.....	11
1.1 Аналіз параметрів та методів забезпечення сприятливого клімату у теплицях.	11
1.2 Аналіз оптимальних значень вологості і температури для тепличного вирощування.	18
1.3 Освітленість для росту рослин.....	28
1.4 Визначення вимог до проектованої системи.....	34
2. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ.....	35
2.1. Аналіз архітектури та елементів автоматизованих систем керування мікрокліматом.....	35
2.2 Розробка структури проектованої системи.....	39
2.3 Розроблення модуля системи збору даних.....	42
2.4 Розроблення модуля керування кліматичною установкою.....	43
2.5 Протокол Modbus для системи керування мікрокліматом.....	44
3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛІВ СИСТЕМИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	53
3.1 Розроблення апаратного забезпечення для керування кліматичною установкою.....	53
3.2 Проектування головного контролера.....	57
3.3 Побудова логіко-статистичної інформаційної моделі для контролю параметрів температури та вологості.....	60
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
Додаток А.	67
Додаток Б.....	69
Додаток В.....	77

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах широко розвиваються різноманітного роду тепличні господарства починаючи від мікротеплиць до великих тепличних комплексів. Оскільки це дозволяє вирощувати якісну сільськогосподарську продукцію більш тривалий період часу ніж це можливо на відкритих ґрунтах. Хоча це зачасту вимагає більш високих затрат ніж вирощування на відкритому ґрунті проте дає більш стабільний результат та дозволяє вирощувати продукцію практично круглий рік.

Проте для забезпечення високих якісних показників необхідно витримувати ряд вимог, таких як забезпечення достатньої кількості мінеральних речовин у ґрунті чи розчині, забезпечення необхідного освітлення та забезпечення відповідних кліматичних умов, зокрема температури та вологості.

Враховуючи те що зазвичай в осінній, зимовий і весняний сезони природніх умов є недостатньо для ефективного вирощування тепличної продукції. Тобто мається на увазі брак світла та тепла. Важливим також є те що вартість енергоносіїв також суттєво впливає на вартість кінцевої продукції, оскільки за найкращих умов, самі швидкоростучі рослини наприклад салат, ростуть як мінімум 21 день. Тобто даній рослині протягом цього періоду потрібно забезпечувати оптимальні умови для росту. При виході за межі оптимальних умов цей час може бути або трохи більшим, або взагалі унеможливить отримання прийняттого результату. При цьому як неважко здогадатися левову частку у вартості рослин складають саме енергоносії, зокрема електроенергія. Оскільки в осінньо-зимовий період сонячного світла не достатньо і є велика потреба в штучному освітленні. А окрім освітлення є велика потреба в дотриманні оптимальних значень вологості та температурного режиму.

Тому моніторинг даних параметрів дозволяє отримати відповідь чому невчасно чи неналежної якості є отримай результат. А також на основі даних моніторингу можна виробляти сигнали керування системами керування

мікрокліматом, щоб підтримувати стан мікроклімату в межах оптимальних значень.

При цьому слід зауважити, що вироблення оптимальних сигналів керування є також важливою і складною науковою задачею, вирішення якої може суттєво скоротити затрати енергоносіїв на одиницю вирощеної продукції.

Так наприклад, освітленні рослин $200\mu\text{mol}/\text{m}^2$, при використанні світлодіодних світильників складе близько $48\text{W}/\text{m}^2$ що при ККД світлодіодних світильників 50%, потребуватиме світильника $96\text{W}/\text{m}^2$, і відповідно при площі 225m^2 потребуватиме 22,6кВт/год електроенергії, яка відповідно і стільки ж згенерує тепла, оскільки світлове випромінювання в кінцевому результаті також перейде в тепло.

Відповідно впливаючи на час і тривалість освітлення можна суттєво впливати і на температуру в теплиці.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження методів та засобів моніторингу і керування мікрокліматом та проектування автоматизованої системи контролю та керування мікрокліматом теплиці.

Для досягнення сформульованої мети роботи необхідно:

- провести аналіз методів та засобів систем моніторингу та керування мікрокліматом в тепличних господарствах;
- провести аналіз елементів та структур автоматизованих систем керування мікрокліматом;
- розробити структуру автоматизованої системи моніторингу та керування мікрокліматом;
- обґрунтувати вибір елементів проектованої системи;
- реалізувати апаратні та програмні модулі для забезпечення роботи розробленої системи;
- забезпечити надійну передачу даних у автоматизованій системі моніторингу та керування мікрокліматом.

Об'єкт дослідження: процеси моніторингу та керування мікрокліматом в теплицях та шляхи їх вдосконалення.

Предметом дослідження є автоматизована система моніторингу контролю мікроклімату.

Наукова новизна одержаних результатів: розроблено логіко-статистичні інформаційні моделі для контролю температурного режиму та вологості в тепличному господарстві, що дозволяє проаналізувати та покращити мікроклімат для підвищення врожайності.

Практичне значення отриманих результатів: проведено розроблення структурної схеми системи та її модулів, яка забезпечує масштабованість системи та дозволяє її адаптувати до інших параметрів в даній галузі, або ж використати напрацьовані результати в інших суміжних галузях, наприклад контролю клімату в торгівельних центрах чи офісних приміщеннях.

Апробація. За результатами досліджень підготовлено та опубліковано дві тези доповідей наукових конференцій, які наведені в додатку В.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦІ

1.1 Аналіз параметрів та методів забезпечення сприятливого клімату у теплицях.

Вирощування сільськогосподарських культур у контрольованому середовищі дозволяє нам вирощувати більшу кількість продукції кращої якості протягом усього року. Сучасне садівництво побудоване і процвітає на цьому принципі. Одним із найважливіших аспектів вирощування в захищеному середовищі, такому як теплиця, є контроль клімату.

Вирощуючи в теплиці, виробники отримують найкраще з обох світів. Вони здатні використовувати природне сонячне світло, але все ще захищають свої рослини від стихії. Але щоб отримати максимальну користь від вирощування в теплиці, виробники повинні ефективно контролювати умови всередині.

Покращення умов вирощування та отримання контролю над процесом вирощування є важливою частиною – комплексного підходу до вирощування, який визначає пріоритетність рослини та спрямований на максимізацію росту та здоров'я рослин[1].

Поліпшення контролю клімату у теплиці допомагає запобігти хворобам, прискорити ріст рослин, підвищити якість і навіть заощадити енергію .

1.1.1 Температура

Всі рослини мають оптимальний діапазон температур. У цьому діапазоні вони якомога краще виконують фотосинтез та інші метаболічні процеси – ефективно та швидко. Це найосновніший аспект контролю клімату в теплицях і, ймовірно, одна з причин, чому були винайдені перші теплиці.

Забезпечення кришки не забезпечує оптимальної температури. Більшість виробників нагрівають або охолоджують повітря, щоб досягти ідеального

діапазону. Потреба в обігріві або охолодженні різна і залежить від клімату, географії, типу культури тощо.

Існує багато різних способів опалення теплиці – за допомогою ґрунтового опалення, столового опалення, теплових труб тощо. Багато сучасних теплиць використовують системи СНР(combined heat and power) ТЕС (комбінованого виробництва тепла та електроенергії), щоб зменшити витрати енергії та підвищити їх ефективність.

Іншим поширеним рішенням є використання теплових екранів. Екрани допомагають утримувати тепло всередині теплиці, зменшуючи потребу в додатковому обігріві. Вони є чудовим доповненням до будь-якої теплиці, яка потребує частого опалення.

Теплиці розташовані по всьому світу, у будь-якому кліматі. Таким чином, деякі неминуче потребують охолодження, а не опалення.

Температура дуже тісно пов'язана з вологістю, тому спосіб обігріву чи охолодження завжди повинен враховувати вологість, і навпаки[2].

1.1.2 Вологість

Як і температура, рослини також мають ідеальний діапазон відносної вологості. Правильний рівень вологості допомагає рослинам метаболізувати, розвиватися та плодоносити, а також залишатися здоровими, сильними та бадьорими.

Якщо умови надто посушливі, рослини будуть рясно транспарувати, що призведе до того, що вони зазнають водного стресу. Це фізіологічний стан, при якому рослина сповільнює або навіть припиняє важливі процеси, щоб зберегти воду.

Якщо у вашій теплиці занадто сухо, ви можете використовувати системи туману або вологі прокладки, щоб ввести більше водяної пари в повітря та підвищити вологість.

Але сухі умови зустрічаються набагато рідше. У більшості теплиць вологість, як правило, підвищується занадто високо. Це тому, що рослини постійно транспірують. Фактично, більше 90% води, яку вони вбирають через коріння, зрештою випаровується через продихи на листі.

Коли вологість занадто висока, повітря може насититися водяною паром. Це називається точкою роси, коли відносна вологість досягає 100%. За цих умов транспірація стає фізично неможливою. Повітря просто не може переносити воду.

Транспірація є важливою частиною системи транспорту поживних речовин рослин. Отже, дуже висока вологість має подібний ефект до водного стресу. Рослина змушена сповільнювати обмінні процеси просто тому, що не справляється з транспортуванням води.

Ще однією серйозною проблемою, пов'язаною з високою вологістю, є спалахи хвороб і цвілі. Такі хвороби, як пероноспороз або сіра пліснява, потребують високої вологості для розвитку. Однак коли вони трапляються, зупинити їх поширення стає неймовірно важко, навіть якщо вологість знову знизиться до оптимального рівня. Єдиний спосіб зупинити поширення плісняви, як тільки вона спалахне, це використання токсичних фунгіцидів, які шкідливо для здоров'я вживати в їжу, і заборонено використовувати для регульованих лікарських культур.

Традиційним методом боротьби з вологістю теплиці є вентиляція. Коли умови на вулиці дозволяють, вентиляція може бути дуже корисною. Проблема в тому, що зовнішні умови не завжди сприятливі. Коли на вулиці дощ, вологість або занадто холодно, вентиляція може зовсім не допомогти зменшити вологість. Найчастіше це відбувається за вночі.

Рослини не фотосинтезують вночі, коли немає світла. Що змушує багатьох людей думати, що вони «закриваються» і їхні фізіологічні процеси зупиняються. Але це не так.

Вночі рослини ще здійснюють дихання, або іншими словами – дихають. Це означає, що вони відкривають породи і вивільняють CO_2 , що спричиняє випаровування води.

Хоча фотосинтез не відбувається, нічне дихання все ще відіграє важливу роль у рості рослин.

Проблеми з нічною транспірацією виникають у закритих середовищах вирощування, де вологість затримується всередині простору.

Це означає, що відносна вологість може швидко досягти точки роси – 100% насичення. Як тільки це станеться, вода почне конденсуватися на холодніших поверхнях, таких як кришки теплиць, металеві поручні або навіть самі рослини.

Висока відносна вологість, або низька VPD, не є оптимальною та уповільнює ріст рослин. Але що ще важливіше, висока вологість може призвести до хвороб і цвілі, таких як борошниста роса, альтернаріоз.

Рослини транспірують не тільки вночі. Вони здійснюють дихання і виділяють водяну пару також протягом дня. Різниця полягає в тому, що вдень виробники можуть відкрити свою теплицю або використувувати вентилятори, щоб випустити вологе повітря. Це можливо, лише якщо погодні умови дозволяють, тобто низька вологість, комфортна температура і не йде дощ.

Уночі, коли повітря холодне та вологе, умови для цього не підходять. Вологість у теплиці не можна просто випустити.

Іншим способом, яким виробники намагаються знизити вологість за ніч, є обігрів. Опалення знижує відносну вологість, збільшуючи здатність повітря утримувати водяну пару. Це допомагає уникнути конденсації, але не завжди ефективно на 100%.

Проблема з нагріванням полягає в тому, що воно фізично не видаляє водяну пару з простору для вирощування. Отже, після вимкнення опалення та зниження температури вологість різко підскочить. До того ж, не завжди можливий обігрів. У теплі ночі опалення може призвести до того, що приміщення стане занадто

гарячим. Важливо контролювати вологість, але ви також не можете забувати підтримувати температуру в оптимальному діапазоні .

Ще одна проблема опалення – енергоспоживання . Незалежно від того, чи використовуються електричні або паливні обігрівачі, опалення вимагає багато енергії, що, звичайно, означає більші витрати.

Отже, якщо вентиляція насправді не є варіантом, а опалення не завжди достатньо, що ви можете зробити, щоб контролювати нічну вологість?

Найкращим рішенням для контролю вологості вночі є осушення.

На відміну від опалення чи вентиляції, використання осушувача завжди можливо. Він не залежить від комфортних зовнішніх умов і не впливає на температуру в приміщенні, яку необхідно регулювати окремо.

Осушувачі, призначені для умов вирощування, є найефективнішим способом контролю вологості. Вони можуть ефективно підтримувати відносну вологість в оптимальному діапазоні, не втрачаючи дорогого тепла назовні або не поєднуючи контроль вологості та температури, що призводить до неефективності.

Звичайно, осушувачі повітря не замінюють системи опалення чи охолодження. Навпаки, вони можуть ідеально інтегруватися з системами опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, щоб забезпечити повне рішення для контролю клімату

1.1.3 Контроль парникового випромінювання/освітлення

Третім аспектом, яким виробники можуть керувати у своїх теплицях, є освітлення або радіація. Це критично важливий фактор, необхідний для підтримки життя рослин. Кількість радіації безпосередньо впливає на здатність рослин фотосинтезувати, розвиватися та рости[3].

Хоча вирощування в теплиці може забезпечити вільне освітлення, це не завжди так. У багатьох кліматичних регіонах сонячне світло не таке постійне, як хотілося б виробникам. За таких умов у теплицях часто використовують додаткові

освітлювальні прилади для вирощування, щоб забезпечити освітлення, коли хмарно чи туманно, або щоб збільшити тривалість дня.

Деякі рослини, еволюціонували, щоб утворювати квіти та плоди відповідно до тривалості світлового дня та темряви. Це називається фотоперіодизмом. Щоб допомогти цим рослинам рости оптимально, виробники повинні відповідати їхнім вимогам до освітлення. Це може включати до 24 годин на добу інтенсивне освітлення!

З іншого боку, фотоперіодичні рослини також можуть потребувати тривалих періодів повної темряви. У більшості місць це неможливо забезпечити природним шляхом. Тому багато виробників використовують затемнені екрани, щоб збільшити темний період або навіть протягом ночі, щоб мінімізувати вплив світла, наскільки це можливо.

Важливо відзначити, що випромінювання, включаючи як світло, так і невидимі форми випромінювання, такі як ультрафіолет, має великий вплив як на температуру, так і на вологість. Радіація підвищує температуру, але також збільшує швидкість транспірації рослин, що призводить до підвищення вологості.

Створення ідеальних умов вирощування в теплиці – це баланс. Це вимагає глибокого розуміння фізики теплиць, належного моніторингу та постійного налаштування й оптимізації протоколів вирощування.

1.1.4 Управління рівнями CO₂ в теплицях

Температура, вологість і радіація є трьома найважливішими аспектами контролю клімату в теплиці. Виробники можуть досягти неймовірних результатів, просто зосередившись на балансі між трьома.

Але оператори теплиць також можуть зробити ще один крок вперед і збагатити своє тепличне середовище додатковим CO₂. CO₂ є важливим матеріалом, необхідним для фотосинтезу та виробництва асиміляції рослинами, тобто він допомагає рослині виробляти сполуки, необхідні для розвитку.

Збагачення повітря CO₂ може допомогти рослинам швидше рости. Але це також вимагає балансування. Для прискорення метаболізму від CO₂ рослинам може знадобитися додаткове освітлення. Як уже згадувалося, більше світла може підвищити температуру та вологість, що необхідно враховувати виробникам.

Зміна будь-якого з цих чотирьох елементів вплине на інші. Виробникам теплиць необхідно постійно керувати всіма параметрами клімату.

1.1.5 Моніторинг і автоматизація тепличного клімат-контролю

Найкращий спосіб забезпечити ідеальні умови в теплиці в будь-який час – це запровадити належні пристрої моніторингу.

Щоб отримати реальну картину того, що відбувається в теплиці, важливо розкласти кілька приладів моніторингу.

Наприклад, щоб отримати реалістичні показники температури, виробники повинні використовувати кілька термостатів, розташованих у різних частинах теплиці. Те саме стосується обладнання для контролю вологості.

Однією з найбільших проблем у теплицях є нерівномірність клімату. Таким чином, одна область може бути сухою, а інша дуже вологою. Це може призвести до того, що деякі рослини ростуть краще, ніж інші.

Що ще гірше, неоднорідні умови сприяють розвитку хвороби, коли вони можуть легко поширюватися та заразити решту рослин, навіть якщо їх місцеві умови ідеальні.

Ще один спосіб забезпечити належний водний баланс – це стежити за відсмоктуванням води осушувачем. Порівнюючи отриману воду зі зрошенням, виробники можуть легко зрозуміти, чи достатньо вони забирають води.

Коли виробник має належну систему моніторингу, яка надає точну інформацію про умови всередині теплиці, він може почати автоматизувати певні процеси.

Моніторинг і автоматизація можуть зробити різницю між прибутковою теплицею та невдалою. Він може перетворити теплицю з низьким рівнем

продуктивності, обтяжену хворобами та високими витратами на виробництво, на ефективну теплицю, яка дає великі високоякісні врожаї.

1.2 Аналіз оптимальних значень вологості і температури для тепличного вирощування.

Повітря складається з багатьох різних газів, одним із яких є водяна пара – газоподібна форма води. Кількість водяної пари в повітрі вимірюється відносною вологістю (RH). Простіше кажучи, це кількість водяної пари в повітрі у відсотках від кількості води, яку може вмістити повітря.

Відносна вологість визначається двома факторами – кількістю водяної пари та температурою повітря. Маючи це на увазі, ми можемо зрозуміти важливість відносної вологості в приміщенні для вирощування.

Вологість є головним фактором при вирощуванні більшості овочів, трав і квітів. Це основна причина гнійної кишки, надзвичайно поширеної та руйнівної хвороби.

Осушення повітря дорівнює профілактиці гнійної інфекції. Це суть.

Вологість - це водяна пара в повітрі, але справжню небезпеку становить справжня рідка вода. Вода схильна конденсуватися на холодних поверхнях. І це складна частина, сама рослина може бути холодною поверхнею!

Рослини випромінюють повітря, тому вони охолоджуються, подібно до поту, що робить їх холоднішими, ніж їх найближче оточення.

Щоб краще зрозуміти зв'язок між вологістю і температурою повітря, нам слід поглянути на точку роси.

Точка роси - це точка, в якій повітря насичується водяною паром, змушуючи воду конденсуватися з газоподібної форми в рідину. По суті, це температура, при якій вода починає з'являтися.

Це діаграма точки роси, також відома як психометрична таблиця (рисунки 1.1).

Це може бути не інтуїтивно зрозумілим, оскільки водяна пара невидима, тому ми використовуємо приклад із повсякденного життя.

Коли ви наливаєте холодний напій у склянку, ви помітите, що зовні утворюється вода. Це відбувається тому, що холодний напій знижує температуру склянки, опускаючи її нижче точки роси.

Водяна пара з навколишнього повітря конденсується на зовнішній поверхні скла, і саме тут утворюються краплі води.

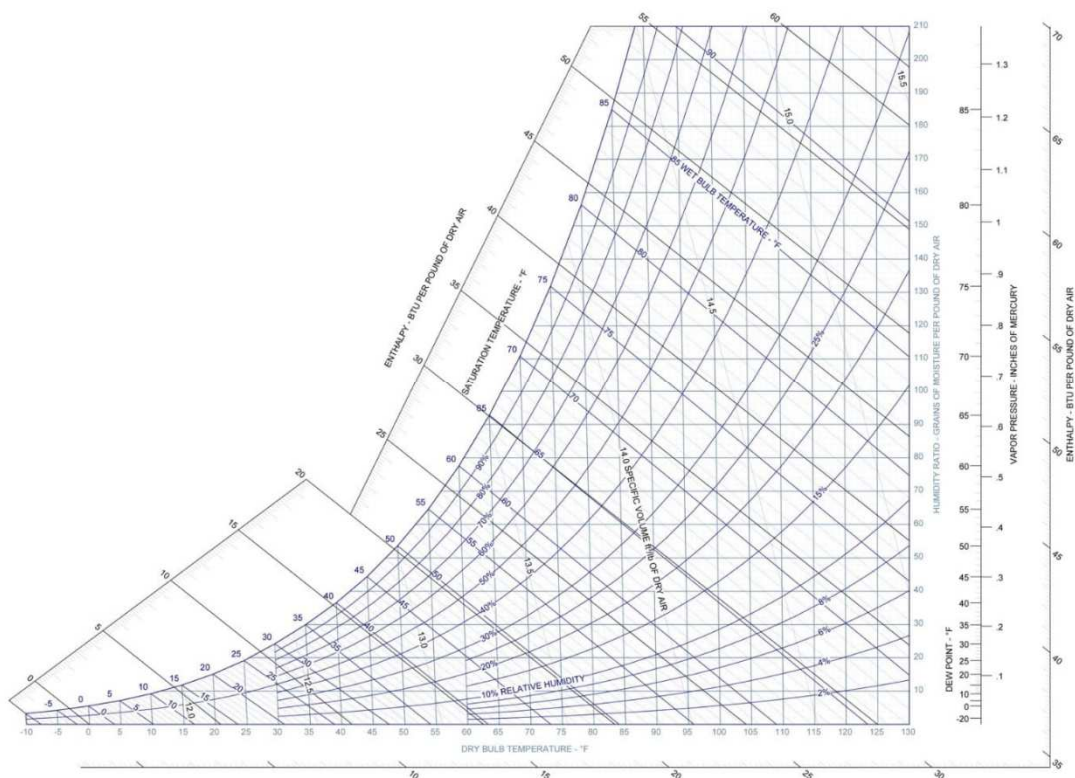


Рисунок 1.1 – Психрометрична таблиця для визначення точки роси

Це основна концепція. Точка роси - це температура, при якій вологість перетворюється на воду.

Між температурою і відносною вологістю існує тісний зв'язок.

У цьому сценарії легко уявити повітря як губку; він містить воду до певної точки, і коли він заповнюється, вода починає з'являтися. Якщо температура постійна, ми можемо знизити відносну вологість шляхом видалення водяної пари з повітря. Це зупинить появу води.

Але коли температура змінюється, рівень відносної вологості також змінюється. Гаряче повітря може містити більше води, ніж холодне. Коли температура підвищується, відносна вологість падає, зменшуючи конденсацію.

Конденсацією води можна керувати та запобігати їй за допомогою контролю вологості та температури, наприклад, за допомогою осушувачів. Це важлива частина - точка роси в основному є порушенням цього зв'язку.

Наступний графік представляє точку роси як функцію відносної вологості при даній температурі повітря (рисунок 1.2).

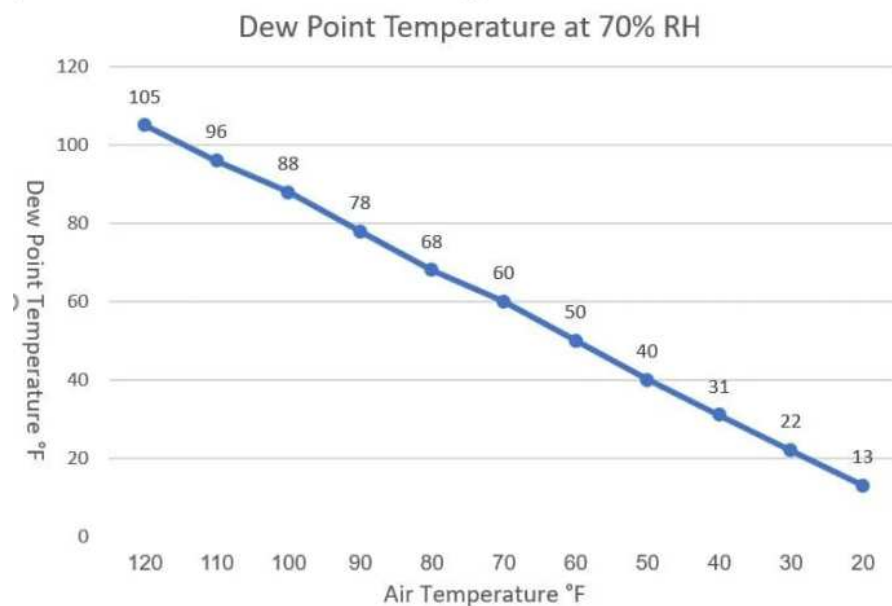


Рисунок 1.2 - Точка роси як функція відносної вологості при даній температурі повітря

Цей графік представляє 70% RH. Ви можете помітити, що за температури повітря 70°F (нижня вісь) графік вирівнюється з температурою точки роси 60°F (ліва вісь). Це означає, що якщо повітря у вашій теплиці зараз має відносну вологість 70% при температурі 70°F, ви можете опуститися до 60°F, перш ніж почне з'являтися рідка вода.

Якщо будь-яка поверхня в приміщенні для вирощування досягає 60°F або нижче, вода конденсуватиметься на ній. Холоднішими поверхнями зазвичай є стелі та стіни, які мають більший контакт із зовнішнім середовищем, а також металеві труби та поручні, або, як вже згадувалося раніше, самі рослини.

Комбінований підхід, заснований на знаннях, дозволяє виробникам оптимізувати умови вирощування при мінімізації витрат.

Розуміння точки роси та факторів, які на неї впливають, дає нам краще зрозуміти, що насправді відбувається в теплиці. Що насправді відбувається, коли ми нагріваємо або даємо повітрю охолонути. Справа не лише в температурі, а й у вологості, і точка роси це втілює.

Для оптимального вирощування рослин у теплиці фахівці рекомендують:

- Рівень відносної вологості близько 80%
- Діапазон температур 18°C – 24°C (ніч – день, 64°F – 75°F)

Оптимальна вологість у теплиці – чому ~80% відносної вологості?

Відносна вологість є критичним кліматичним параметром при вирощуванні будь-яких культур. Тому більшість виробників прагнуть підтримувати оптимальні діапазони вологості, що відповідають рослинам, які вони вирощують.

Оптимальна відносна вологість для більшості рослин становить близько 80%. На цьому рівні темпи росту найвищі для звичайних тепличних рослин. При вищому або нижчому рівні вологості фізіологічні процеси рослин можуть сповільнитися, що призведе до уповільнення росту та зниження якості продукції.

Високі рівні відносної вологості також різко підвищують сприйнятливість до звичайних захворювань, пов'язаних із вологістю, таких як гнійний гриб або борошниста роса.

Вологість є кліматичним параметром, який виробники повинні розуміти, контролювати та підтримувати відповідно до своїх цільових культур, а не просто намагатися зменшити її до мінімуму.

Для більшості звичайних тепличних культур необхідний температурний діапазон приблизно 18°C-24°C (64°F – 75°F).

Ці температури вважаються оптимальними для більшості поширених культур, тому ми знаходимо їх у більшості теплиць у всьому світі. Температури за межами цього діапазону зазвичай призводять до уповільнення або зупинки росту та неоптимальної якості врожаю, тому виробники рідко відхиляються від цього.

Контроль вологості в теплицях і кімнатних приміщеннях є необхідністю. Оскільки неочищена вологість у таких умовах призводить до серйозних проблем і неефективності. Коли посіви потрапляють в умови, які для них не є оптимальними, вони ростуть повільніше, дрібнішають і їхня якість знижується.

Неконтрольована вологість спричинить утворення конденсату всередині будь-якого приміщення. Наявність такої вільної води призводить до розвитку хвороб, які можуть швидко знищити велику кількість овочів чи будь-яких інших культур.

Є багато факторів, які впливають на здатність рослин отримувати поживні речовини та поширювати їх до клітин рослини. Одним із найефективніших способів покращити транспорт поживних речовин є контроль вологості.

Рослини – це живі організми. Як і будь-яка жива істота, вони розщеплюють поживні речовини, щоб рости та розвиватися. Але на відміну від інших організмів, рослини не харчуються. Навпаки, вони отримують більшу частину своїх поживних речовин із ґрунту, через воду, яку вони беруть із своїх коренів.

Спрощуючи, заводи складаються з труб. Вода, яка містить необхідні органічні сполуки, проходить по всій рослині, від коренів до листя. Потім листя переносить воду в повітря. Здається, цей процес кидає виклик гравітації. Отже, як це роблять рослини?

По-перше, нам потрібно зрозуміти воду. Вода має унікальні фізичні властивості. Він складається з атомів водню та кисню, з'єднаних так званим *водневим зв'язком*. Цей зв'язок з'єднує молекули води одна з одною, перетворюючи їх в одне тіло води. Отже, коли вода починає текти, решта її слідує, створюючи згуртований потік, навіть угору.

Усередині рослини вода тече по порожнистих трубках, відомих як *ксилема*. Але щоб текти вгору, йому потрібна початкова сила, щоб почати процес.

Початкова напруга створюється в продихах листя. Коли продихи відкриті, вода випаровується в повітря (рисунок 1.3). Якщо випаровування припиниться, *притягнення ксилеми* припиниться, рослина перестане транспортувати багату

поживними речовинами воду, і коріння більше не поглинатиме її. Це призведе до зупинки розвитку рослини, що призведе до сповільнення росту або його повної відсутності. Звичайно, це негативно позначається на розмірах і якості врожаю.

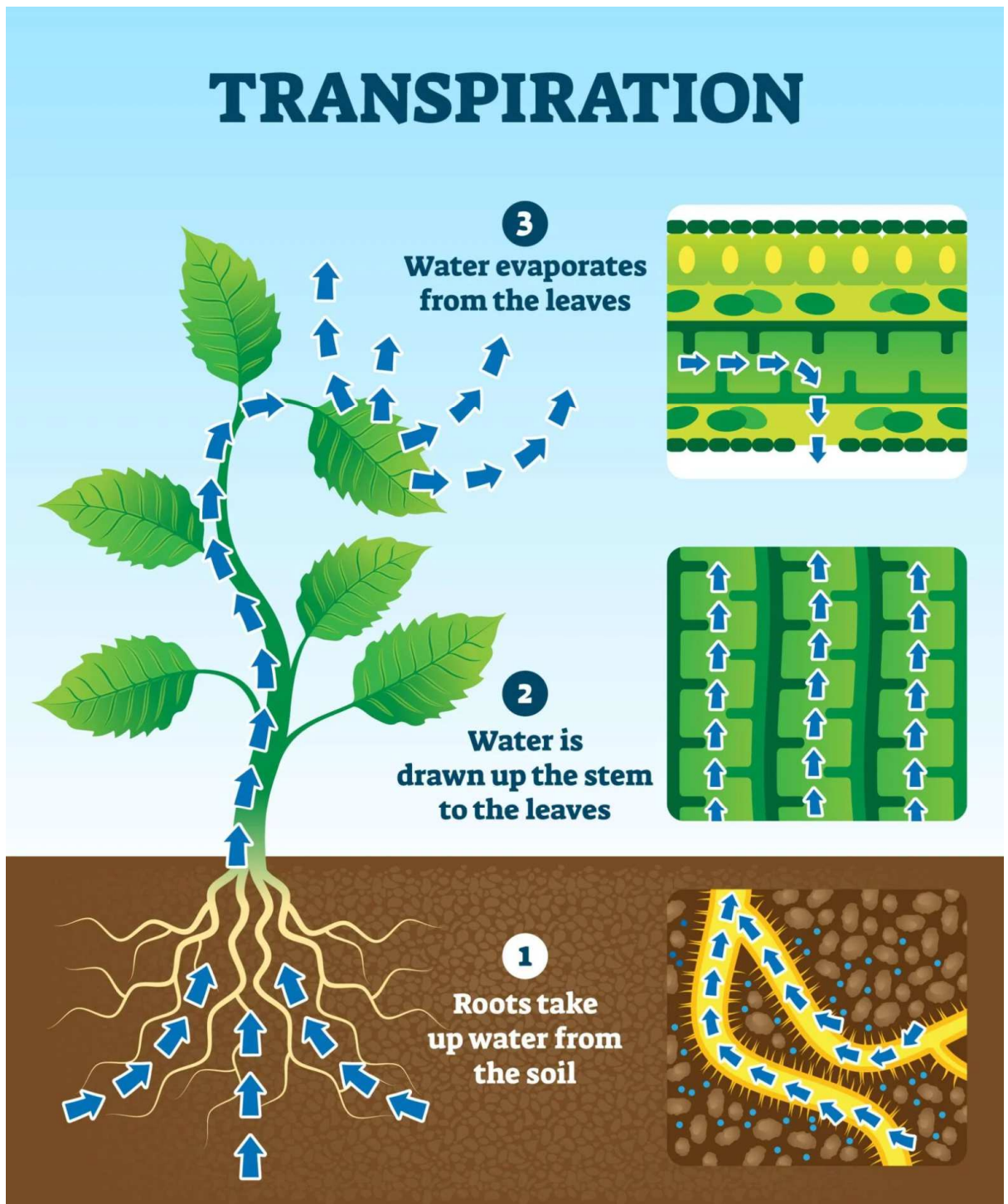


Рисунок 1.3 – Процес транспірації в рослин

Отже, транспірація є ключем до росту рослин. Існує два основні фактори, які впливають на здатність рослин транспірувати:

Сонячне світло або світло для росту – у відповідь на світло відкриваються продихи, що дозволяє воді випаровуватися. Однак важливо зазначити, що деяка кількість води все одно випаровується протягом ночі, навіть у темряві, через процес дихання рослин.

Відносна вологість – вологість безпосередньо впливає на швидкість транспарації рослин. Як правило, вища вологість уповільнює транспірацію, а нижча вологість прискорює її. Але якщо відносна вологість занадто низька або занадто висока, транспортування поживних речовин сповільниться або повністю припиниться. Вся справа в дотриманні правильного балансу.

Відносна вологість вимірює кількість водяної пари в повітрі у відсотках від того, скільки води може вмістити повітря. Отже, відносна вологість 100% означає, що повітря повністю насичене і більше не може утримувати воду.

Щоб рослини могли транспірувати, повітря, що їх оточує (*прикордонний шар*), має бути здатним приймати більше водяної пари. Якщо повітря вже досягло точки роси, як при 100% насиченні, водяній парі нікуди діватися. У цьому випадку вода просто перестане випаровуватися, зупиняючи притягування ксилеми та зупиняючи транспорт поживних речовин у рослині.

Таким чином, щоб правильно розвиватися, рослинам потрібен рівень відносної вологості, комфортно нижче 100%.

Але надзвичайно низька вологість також має свої проблеми. Коли повітря занадто сухе, вода швидко випаровується. Отже, щоб захистити себе від надзвичайної втрати води, рослини перебувають у стані стресу, у якому вони закривають свої продихи, намагаючись утримати воду. Коли рослини закривають свої продихи, вони майже не транспірують, що призводить до подібних результатів, як висока вологість.

Для більшості рослин відносна вологість 60-80% вважається оптимальним діапазоном.

Контроль вологості є одним із найефективніших способів покращити транспорт поживних речовин, підвищити врожайність і покращити якість.

Традиційно виробники теплиць використовують поєднання опалення та вентиляції для контролю вологості.

Температура безпосередньо впливає на здатність повітря утримувати водяну пару. Гаряче повітря може утримувати більше води, ніж холодне, тому опалення справді знижує відносну вологість. Але насправді він не видаляє водяну пару з теплиці, тому, як тільки температура впаде, відносна вологість підскочить. Щоб боротися з цим, виробники також провітрюють, випускаючи вологе повітря з теплиці.

Проблема з опаленням і вентиляцією полягає в тому, що в процесі також виділяється гаряче повітря, яке потребує додаткового нагріву. Цей метод не тільки неефективний і марнотратний, але й неефективний за різних обставин, наприклад у дощову погоду, вологі або холодні дні та протягом більшості ночей.

Єдиний спосіб повністю контролювати вологість без зайвих витрат енергії – використовувати осушувачі. Таким чином, ви можете тримати теплицю повністю закритою, зберігаючи тепло, фізично видаляючи водяну пару з повітря.

Використання осушувача в закритому просторі має кілька переваг, крім ефективного контролю вологості. Відокремлюючи контроль температури та вологості, виробники отримують більше контролю над кліматом у теплиці. Можливість окремо регулювати температуру та вологість забезпечує оптимальні кліматичні умови з мінімальними потребами в енергії.

Закриття теплиці, бажано з використанням екранів, також різко зменшує спалахи шкідників і хвороб і дозволяє повністю контролювати освітлення. Усе це сприяє вищій якості врожаю та більшій врожайності.

Дефіцит тиску пари (VPD) є одним із кількох методів, які використовують виробники для вимірювання вологості в теплиці чи середовищі вирощування. Це дозволяє виробникам оцінити вплив вологості на ріст і розвиток рослин.

VPD (Vapor Pressure Deficit) вимірює різницю в тиску між водяною паром в повітрі та точкою насичення повітря, яка є максимальною кількістю, яку повітря

може нести за поточної температури. Точка повного насичення також називається точкою роси .

$$VPD = \text{тиск пари (насичення)} - \text{тиск пари (повітря)}$$

Ця різниця тиску є причиною транспірації з продихів рослин.

Багато виробників використовують RH (відносну вологість) для вимірювання рівня вологості в теплиці. Це вимірює відсоток насиченості повітря водою за певної температури. Хоча відносна вологість чудово підходить для управління вологістю, вона мало що говорить нам про сили, що спричиняють випаровування рослин.

VPD, на відміну від RH, корелює зі швидкістю транспірації рослин, що робить його проактивним інструментом для розширення можливостей рослин , а не просто кліматичним параметром.

Вважаємо вміст води в живому листі 100% RH, тобто повністю насиченим. Тоді як повітря зазвичай недонасичене. Це дозволяє воді надходити з рослини в повітря.

Якщо VPD високий, тобто повітря відносно сухе, рівень транспірації збільшиться. Коли дефіцит тиску пари зменшується, транспірація зменшується або навіть повністю припиняється.

Між метаболізмом рослин і транспірацією існує прямий зв'язок . Коли вода випаровується з листя, вона «тягне» воду через коріння. Ця вода містить поживні речовини, необхідні рослинам для росту, розвитку та плодоношення.

Низький VPD, що означає низьку транспірацію, призведе до уповільнення метаболізму рослин, гальмування розвитку, а також підвищення сприйнятливості до хвороб .

Але VPD також проблематична. При високих рівнях, тобто сухому повітрі, швидкість випаровування з продихів листка може бути надто швидкою, що спричиняє його висихання.

Дуже високий дефіцит тиску пари може призвести до водного стресу, ситуації, коли рослина переходить на захист, намагаючись утримати воду. Продихи закриваються, щоб запобігти випаровуванню, яке, у свою чергу, припиняє надходження CO₂, що також перешкоджає росту.

Дефіцит тиску пари вимірюється шляхом віднімання тиску водяної пари в повітрі від тиску пари, який можна знайти в насиченому повітрі за певної температури.

Приклад: при 22 ° C і відносній вологості 80% тиск пари становить 2,12 кПа. Якби відносна вологість була 100%, що означає повне насичення, за тієї самої температури тиск пари становив би 2,64 кПа.

Різниця між насиченістю та фактичним вмістом води в термінах тиску є VPD.

$$VPD = 2,64 \text{ кПа (насичення)} - 2,12 \text{ кПа (фактичний)} = 0,52 \text{ кПа}$$

Вважається, що оптимальний діапазон дефіциту тиску пари для більшості рослин становить від 0,4 до 1,6 кПа. Це, звичайно, відрізняється для різних рослин. Кожна рослина має свій власний смак для різних стадій розвитку.

Як правило, на пізніших етапах VPD має бути вище оптимального діапазону.

Для салату ідеальний діапазон VPD вужчий:

- Вегетативна стадія: 0,8-1,0 кПа
- Стадія цвітіння: 1,2-1,5 кПа

Як управляти дефіцитом тиску пари

Існує 2 способи впливати на дефіцит тиску пари та контролювати його:

- температура:
 - Щоб збільшити VPD: підвищити температуру
 - Щоб знизити VPD: знизити температуру
- Вологість
 - Щоб збільшити VPD: зменшіть вологість (увімкніть осушувач)
 - Щоб знизити VPD: підвищте вологість (вимкніть осушувач)

Важливо відзначити, що в теплиці є багато речей, які впливають на ці 2 фактори. Наприклад, світло випромінює тепло і призведе до підвищення температури, що призведе до більш високого рівня дефіциту тиску пари.

Управління тепличним ВПД

У тепличних умовах вода постійно випаровується. Це призводить до зниження VPD, оскільки повітря наближається до точки роси.

Щоб зберегти оптимальний діапазон, існує два основні методи зниження вологості та збільшення VPD: осушення та циркуляція повітря .

Осушення – очевидне рішення. Фізичне видалення води з повітря зменшує вологість і збільшує VPD, оскільки повітря віддаляється від точки роси.

Менш інтуїтивно зрозумілим методом є циркуляція повітря. Коли листя виділяє воду, воно оточує себе тонким шаром прохолодного вологого повітря – прикордонним шаром. Рослини відчують лише те повітря, з яким вони безпосередньо контактують. Таким чином, коли прикордонний шар залишається навколо рослини, він відчуватиме нижчий VPD, ніж виміряний в решті простору. Це неминуче призводить до непослідовних вимірювань, які можуть не відображати повільний рівень метаболізму, який фактично спостерігається.

Ефективна циркуляція повітря допомагає розсіяти прикордонний шар. На додаток до збільшення дефіциту тиску пари, який відчують рослини, хороша циркуляція також допомагає мінімізувати коливання в теплиці. Це робить моніторинг простішим і ефективнішим, одночасно забезпечуючи однакові оптимальні умови , включаючи VPD, у всьому просторі для вирощування.

1.3 Освітленість для росту рослин

Радіація, або світло, є головним чинником у проектуванні складних середовищ для вирощування, оскільки вона впливає на всі інші параметри клімату.

Спектр видимого світла (PAR – фотосинтетично активне випромінювання) становить від 400 до 700 10^{-9} метрів (нанометрів)[3].

- *Кількість або інтенсивність світла* означає загальну кількість фотонів, отриманих на одиницю площі за певний час.

Якість світла означає відносну частку фотонів, отриманих на кожній довжині хвилі на одиницю площі. Довжина хвилі, менша за 400 нанометрів, називається УФ-випромінюванням і зазвичай поділяється на 3 області (рисунок 1.4), кожна з яких є потужною та може спричинити шкірні захворювання у людей:

- UVA – 320-400 нанометрів
- UVB – 290-320 нанометрів
- UVC – 200-290 нанометрів

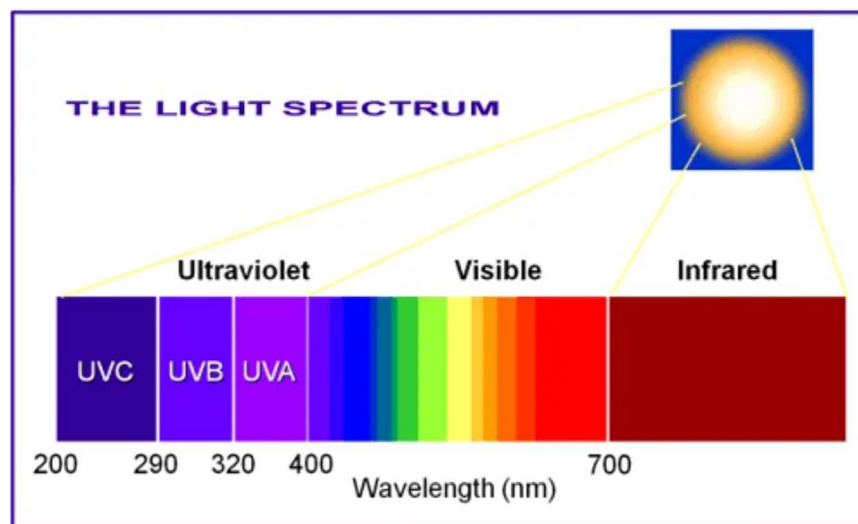


Рисунок 1.4 – Спектр світла

З іншого боку спектру довжина хвилі понад 700 (нм) створює тепло. Вважається, що UVA - випромінювання сильно впливає на створення вторинних метаболітів у рослинах. Наприклад, ТНС та інші молекули, які відіграють роль у захисті квітів. Прийнято говорити, що ультрафіолетове випромінювання активізує захисний механізм рослини.

Light units: $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ versus Watts/m^2

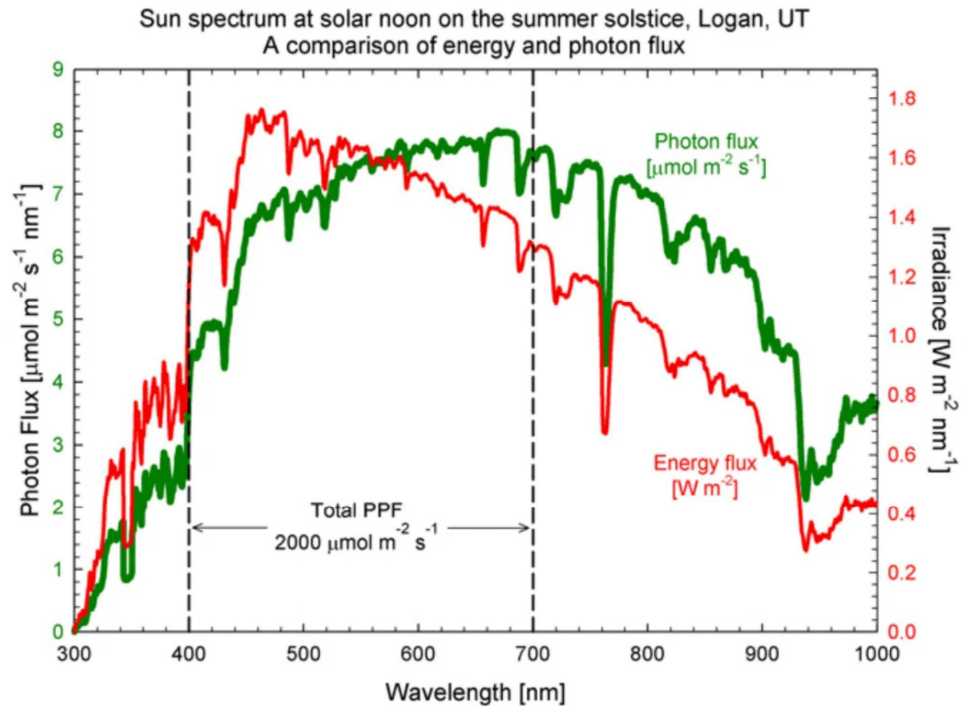


Рисунок 1.5 – Спектр сонячного світла

Як правило, при перетворенні $\text{ват}/\text{м}^2$ в $\text{мкмоль}/\text{м}^2/\text{с}$ співвідношення дорівнює 1:2. У середній сонячний день потік енергії може становити близько $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$, що приблизно означає $2000 \text{ мкмоль}/\text{м}^2/\text{с}$.

У рослин існує 2 види хлорофілу. До інтенсивних досліджень в останні роки довжини хвиль між червоним і синім вважалися менш корисними для рослин. Сьогодні ми знаємо, що ці довжини хвиль є вирішальними для різних процесів, пов'язаних із створенням фікоеритрину, фікоціаніну, каротиноїдів тощо (рисунок 1.6).

Довжина хвилі синього кольору не найбільша за кількістю, але його енергія дуже висока. Синє світло важливе для відкриття продихів і синтезу хлорофілу. Червоне, або дальнє червоне світло, визначає видовження рослин. Фактично, рослини, які піддаються впливу синього світла, стають меншими в порівнянні з рослинами, які отримують більше червоного світла.

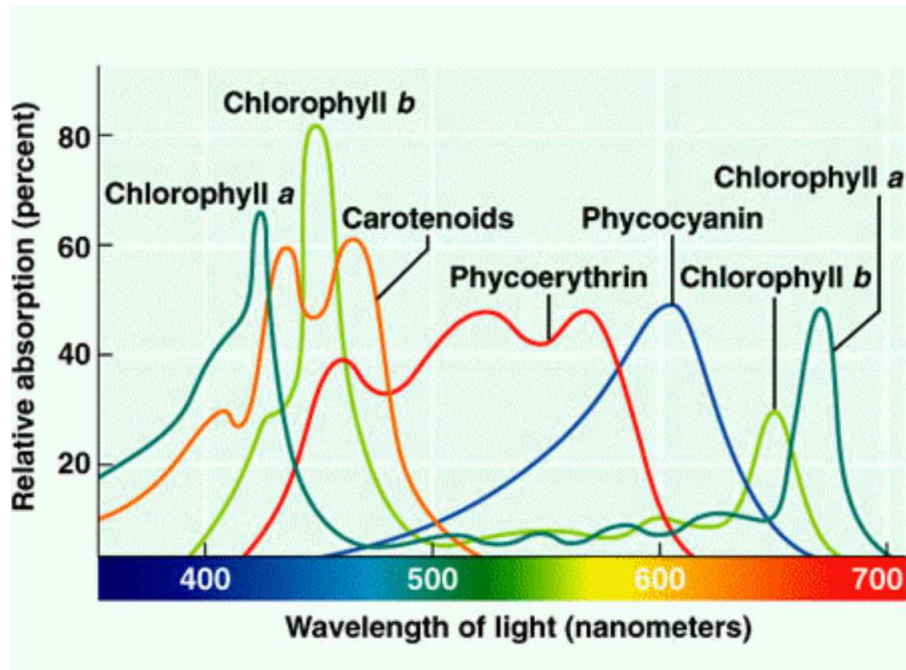


Рисунок 1.6 – Ефективність синтезу різних речовин в рослині в залежності від довжини хвилі

До недавнього часу натрієві лампи високого тиску (HPS) широко використовувалися в сільському господарстві. Проте спектр, який він створює, досить вузький і зосереджений переважно навколо помаранчевої та червоної довжин хвиль. Металогалогенні лампи корисніші та мають ширший спектр, але виявилися ненадійними та потребують частої заміни. Світлодіодне освітлення в даний час є досить дорогим, у деяких випадках до 5 разів дорожче за світло HPS. Крім того, світлодіодне освітлення вимагає значних інвестицій в інфраструктуру через різний розподіл світла.

Добова потреба в освітленні – 10-15 мегаджоулів (МДж/м² на день). Добова кількість радіації може сильно відрізнятись між сезонами. У напівпосушливому кліматі влітку кількість радіації може досягати 30 МДж/м² /добу за 14 годин світлового дня. У тому самому місці протягом зими буде отримано лише близько 6-7 МДж/м² /день протягом 10 годин світлового дня.

Закон зворотних квадратів стверджує, що певна фізична величина обернено пропорційна квадрату відстані від джерела цієї фізичної величини. Якщо відстань

до джерела світла подвоюється, зона охоплення збільшується в 4 рази (рисунок 1.7).

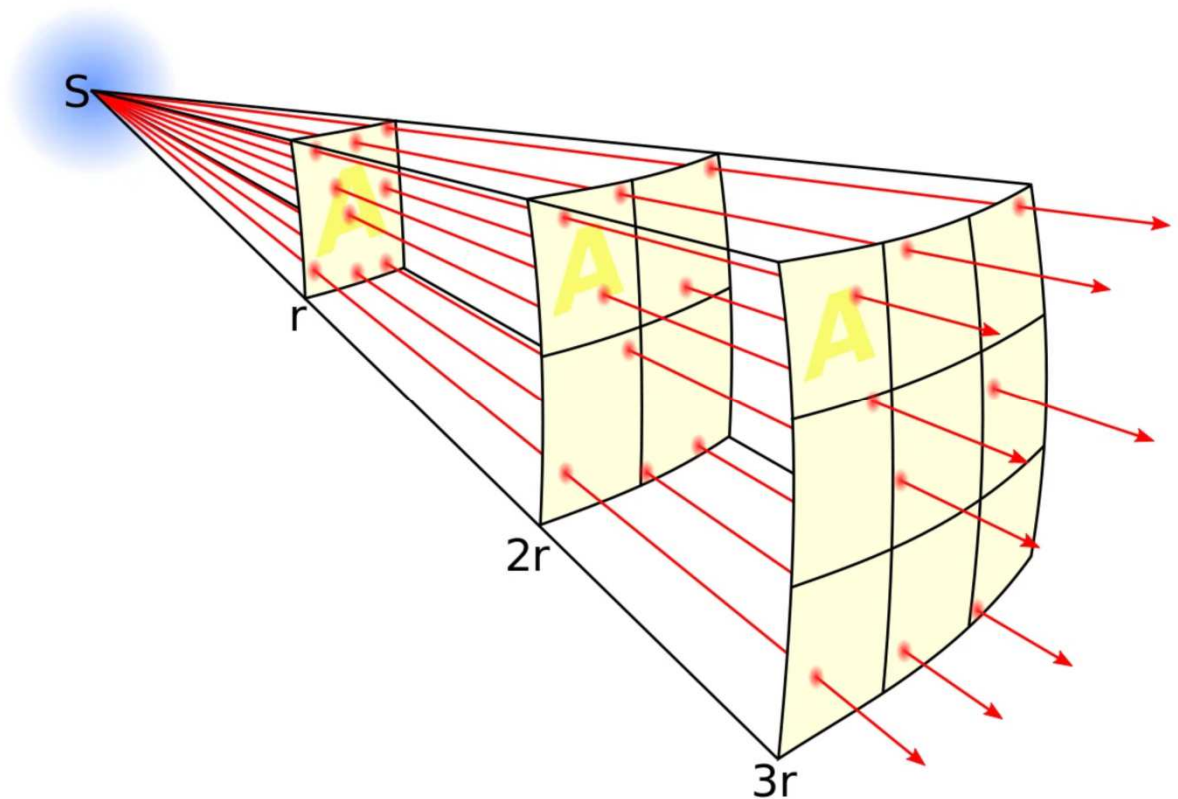


Рисунок 1.7 – Закон зворотніх квадратів

Цей простий фізичний закон може допомогти нам зрозуміти кількість світла, яку ми хотіли б отримати для даної рослини.

Індекс площі листя (LAI) можна розрахувати за кількістю шарів листя, які можуть покрити 1 квадратний метр. Зазвичай значення коливаються від 1 до 4,5. Коефіцієнти поглинання випромінювання не змінюються у співвідношенні 1:1 порівняно з LAI. Причина цього полягає в тому, що в сучасному сільському господарстві рослини вирощують рядами, і не отримують світло рівномірно та однаково з усіх боків. Крім того, листя на нижній частині рослини, як правило, менш активні. У порівнянні з молодшими листками відбувається накопичення кальцію на нижніх, старших листках.

У «Транспірації тепличних культур: допомога в управлінні кліматом» (1987) доктор Сесілія Стангелліні обчислює транспірацію рослин зі значенням LAI 3 при

різних рівнях вологості та температури. Її дослідження є основою для того, як розрахувати кількість води, що виділяється в повітря, залежно від кількості радіації.

При відносній вологості повітря 70% і температурі 20°C у темряві рослини виділяють 36 грамів води на м²/год. Цікаво, що як тільки випромінювання дуже мало (30 Вт·м⁻²), швидкість транспірації збільшується більш ніж удвічі, і в тих самих кліматичних умовах становить близько 80 грамів води на м²/год. В умовах 250 Вт·м⁻² швидкість транспірації становить 158 грамів води на м²/год. Для 1000 Вт·м⁻² це 288 грамів води на м²/год. На рисунку 1.8 наведено залежність швидкості транспірації від температури та вологості.

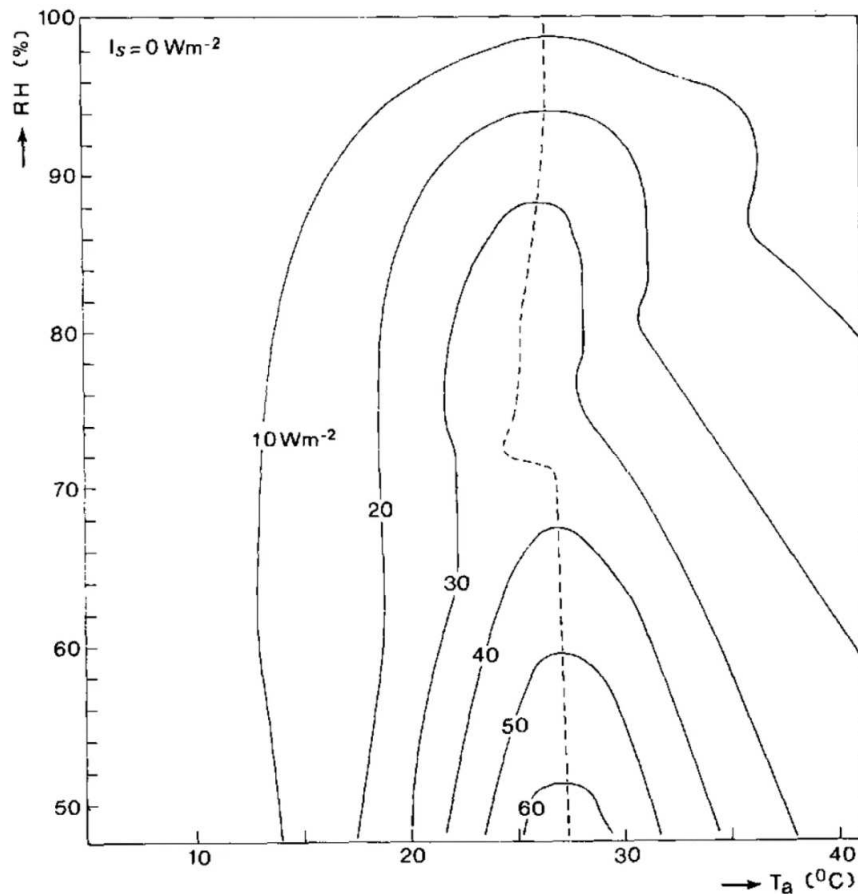


Рисунок 1.8 – Швидкість транспірації як функція від температури та відносної вологості

Як правило, вище певної температури рослини будуть менше вивітрюватися з кількох причин. Здебільшого завдяки здатності рослини закривати продири, щоб уникнути втрати води. Стан, у якому рослина інтенсивно транспірує, не обов'язково означає, що вона найбільш активна. Зазвичай це стосується лише листової зелені. Деякі плодоносні рослини можуть втратити контроль над своїми продирами та неконтрольовано втрачати значну кількість води. Деякі дані показують, що зрошення солоною водою може зменшити нічну транспірацію до 30%.

1.4 Визначення вимог до проектованої системи

Враховуючи вище викладений матеріал можна зробити висновки, що для забезпечення ефективного вирощування рослин, необхідно забезпечити оптимальні параметри мікроклімату, такі як:

- температура повітря;
- температура листя;
- відносна вологість;
- концентрація CO₂;
- PAR світло (фотосинтетичне активне випромінювання).

Практично найважливішим параметром який суттєво впливає на ефективність є відносна вологість, при цьому слід зазначити, що вона сильно залежить від температури. Також слід відмітити, що ефективний розвиток рослин можливий у досить вузькому діапазоні температур 18-24°C, при цьому використання штучного освітлення також суттєво впливає на температуру в теплиці. Провітрювання теплиці впливає, як на концентрацію CO₂ так і на вологість і на температуру.

Тому найважливішою науковою задачею є забезпечення оптимального мікроклімату в теплиці при мінімальних затратах енергоресурсів.

2. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

2.1. Аналіз архітектури та елементів автоматизованих систем керування мікрокліматом

Системи керування мікрокліматом використовуються в теплицях для забезпечення сталого мікроклімату, який сприяє ефективному вирощуванню того чи іншого виду рослин. Оскільки в міжсезоння (хоча і сезон також) коливання температури та вологості можуть бути доволі значними, так наприклад для ефективного вирощування багатьох тепличних рослин потрібна температура 19-23°C, то дотримання таких температур і в холодну і теплу пору року є доволі складною задачею.

Але оскільки це є типовою задачею для ефективного функціонування теплиць, то відповідно і на ринку представлена велика кількість різноманітних систем покликаних вирішувати дану задачу.

Оскільки в даній частині автоматизації тепличного комплексу розглядається задача підтримання мікроклімату, то слід виділити параметри, які підлягають контролю та на основі котрих будуть прийматися рішення, щодо підігріву/охолодження чи осушення повітря в теплиці.

Тому відповідно незалежно від кількості виробників даних рішень, така система матиме подібних функціонал та сенсори для відслідковування параметрів мікроклімату теплиці.

Наприклад типова структура система керування мікрокліматом компанії «Овен»[23] наведена на рисунку 2.1. Як видно з цієї схеми в ній окрім контролю внутрішніх параметрів теплиці (температура, вологість, CO₂) також використовуються сенсори для контролю зовнішніх параметрів, таких як: контроль рівня сонячного випромінювання та напрям і сила вітру.

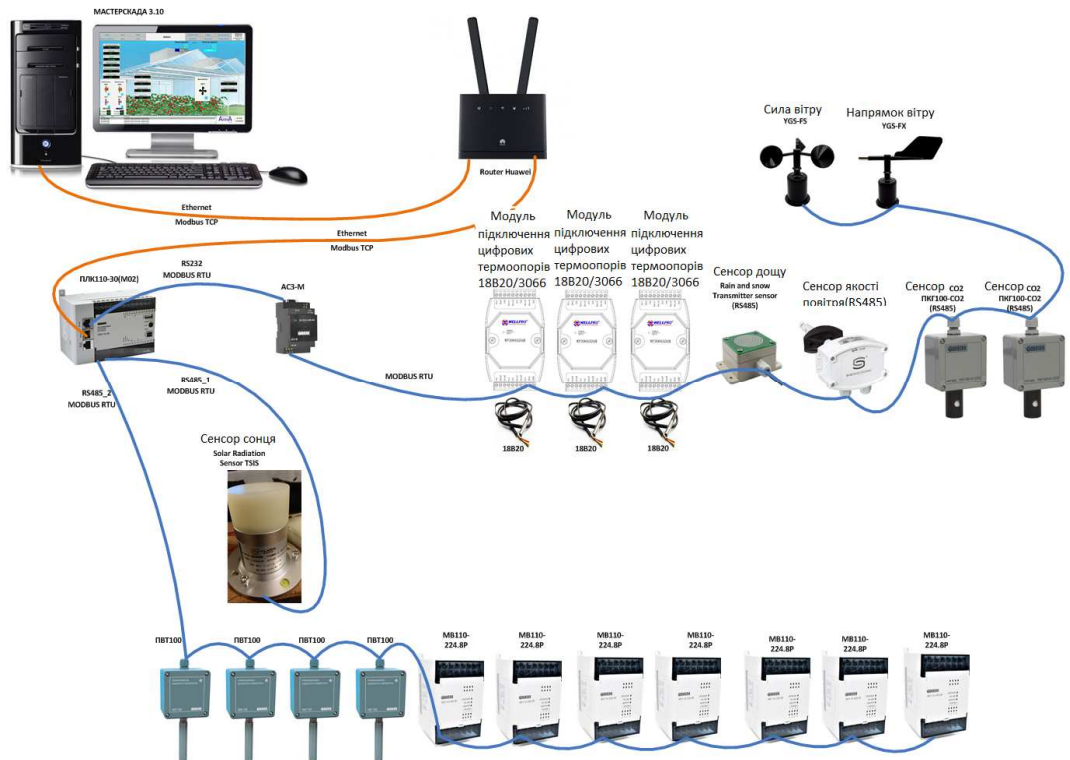


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи збору даних та керування мікрокліматом теплиці.

Для відображення роботи системи та аналізу результатів її роботи використовується візуалізація на основі SCADA системи (рисунок 2.2).

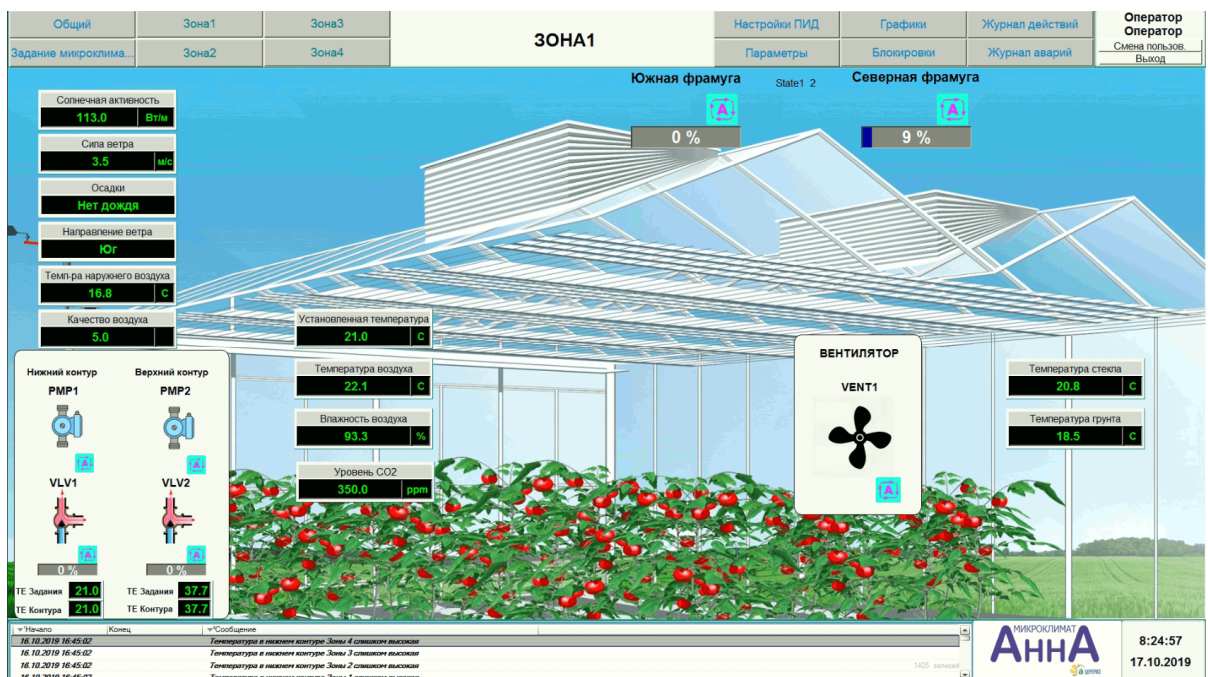


Рисунок 2.2 - Візуалізація роботи системи керування кліматом на основі SCADA системи.

Оскільки інші системи керування кліматом теплиці, мають подібні структури, наприклад система компанії АТС-Україна [2] чи компанії Netafim[3], то немає сенсу їх детально розглядати. На рисунку 2.3 представлені модулі моніторингу та керування мікрокліматом теплиці.



Рисунок 2.3 - Модулі автоматизованої системи керування мікрокліматом

На даному рисунку наведені лише основні модулі для створення системи, хоча якщо її робити мінімальною, то модуль метеостанції також носить більш інформативний характер, за його допомогою можна звичайно аналізувати та

прогнозувати витрати енергоносіїв в залежності від зовнішніх погодніх умов, проте за його відсутності система теж може надійно і справно працювати.

До даного переліку модулів системи відносяться: сенсорний монітор; промисловий комп'ютер; програмований логічний контролер (PLC); модулі аналогового та цифрового вводу/виводу інформації; сенсори вологості і температури та метеостанція.

За допомогою пульта оператора до якого відноситься сенсорний монітор та комп'ютер оператор здійснює налаштування роботи системи та моніторинг її роботи.

Для вимірювання поточних параметрів вологості та температури використовуються відповідні сенсори, оскільки вологість сильно залежить від температури, то часто такі сенсори часто є комбінованими і дозволяють одночасно вимірювати і вологість і температуру.

Оскільки багато сенсорів мають аналогові виходи, то для збору інформації з цих сенсорів необхідно модулі з аналоговими входами, які дозволяють зчитувати відповідні аналогові сигнали, наприклад сенсор вологості і температури компанії Certa[4], зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3, видає сигнал вологості в діапазоні напруг 0-10В, а для вимірювання значення температури використовується термопара Pt1000 або NTC10K, відповідно модуль вводу аналогових сигналів повинен «вміти» працювати з даними типами сенсорів температури та опрацьовувати аналогові сигнали 0-10В.

Також для керування відповідними системами обігріву, кондиціонування та осушення повітря необхідно на відповідні установки подавати відповідні сигнали, зачасти такі установки керуються відповідними аналоговими та дискретними сигналами. Аналогові сигнали зазвичай використовуються для керування потужністю установок, оскільки не завжди їх необхідно вмикати на повну потужність. Відповідно для цього використовуються відповідні модулі виводу дискретних та аналогових сигналів.

А також самі установки можуть не завжди працювати та генерувати помилки

чи сповіщення про аварійні ситуації, де відповідно потрібні відповідні модулі аналогових та цифрових входів. Для об'єднання цих модулів та реалізації системи використовується програмований логічний контролер (PLC).

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що автоматизована система керування мікрокліматом дозволяє ефективно керувати температурою та вологістю в теплиці, а також аналізувати ефективність її роботи та вплив ефективності роботи даної системи на урожайність.

Що дозволяє забезпечити ефективну роботу системи та розраховувати рентабельність тепличного господарства в залежності від зовнішніх умов, а також аналізувати вплив нестабільності роботи системи на якість та швидкість вирощування рослин.

Оскільки тепличне виробництво сильно залежить від багатьох факторів і забезпечення вчасного виходу достатньої кількості та відповідної якості продукції є складною задачею, на відміну від багатьох інших видів виробництв.

2.2 Розробка структури проекрованої системи

В тепличних господарствах важливим процесом є моніторинг та керування мікрокліматом. Оскільки це не тільки впливає на високу урожайність а й також може загрожувати взагалі втратою врожаю, особливо в холодні пори року, тому системи моніторингу та керування мікрокліматом є важливим елементом теплиць. Та ефективне застосування даних систем дозволяє отримувати високу врожайність за короткий період часу, а також використання системи моніторингу дозволяє проводити дослідження ефективності роботи системи та виявляти етапи які могли сповільнити ріст рослин. Що є дуже актуальним при комерційній експлуатації теплиць, оскільки клієнти даних господарств розраховують на безперебійне та стабільне постачання якісної продукції.

Систему моніторингу та керування мікрокліматом можна поділити на дві частини: систему моніторингу та систему керування.

Система моніторингу призначена для збору та аналізу даних по теплиці, їх відображення та архівування. Система керування призначена для керування мікрокліматом за допомогою кліматичних установок: засобів охолодження; нагрівання та осушення повітря.

При цьому на основі даних системи моніторингу формуються сигнали керування для системи управління мікрокліматом, оскільки для великих теплиць використовують кілька кліматичних установок, які можуть працювати незалежно одна від одної. Та відповідно впливати на мікроклімат в своїй частині теплиці, що дозволяє ефективно вирівнювати температурні показники в залежності від погодних умов. Наприклад при холодному північному вітрі чи сильному південному сонці повинна вмикатися лише та частина установок яка відповідає за свою частину теплиці, а також в зв'язку з природньою конвекцією можна просто за допомогою вентиляторів перемішувати повітря, яке знаходиться в теплиці для отримання потрібних значень температурних по всьому об'єму теплиці. Таким чином забезпечують рівномірні температурні показники.

Слід також врахувати той факт, що рослини для ефективного росту потребують доволі багато світла, якого зазвичай є недостатньо, особливо в осінні, зимові та весняні місяці.

А враховуючи той факт, що інтенсивність освітлення має бути доволі високою, то і тепла дані прилади виробляють достатньо багато, тут слід взяти до уваги те що ефективність освітлювальних приладів складає близько 50%, тобто інших 50% йде в тепло, хоча і те вироблене світло в кінцевому результаті теж перетворюється в тепло.

А відповідно регулюючи тривалість та періоди освітлення можна також значною мірою впливати на температуру. І навіть більше того слід брати до уваги той факт, що освітлення в теплиці завжди впливає на температуру, тому при виваженому підході до керування цими системами, можна досягнути максимальної ефективності використання енергоносіїв.

На рисунку 2.4 наведено структурну схему системи керування

мікрокліматом, при розробці даної структурної схеми взято до уваги варіант теплиці розділеної на 4 сектори та яка містить відповідно 4 кліматичні установки, які можуть працювати незалежно одна від одної.

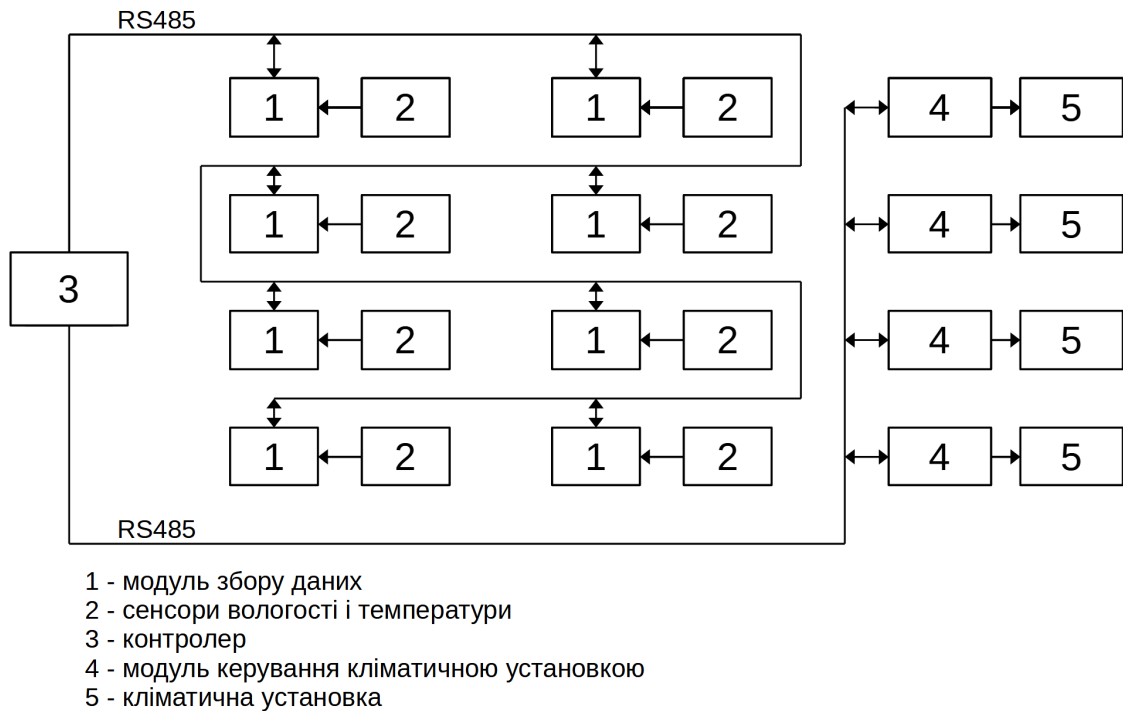


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи керування мікрокліматом теплиці

На даній структурній схемі можна виділити наступні елементи: модулі збору даних(1); сенсори вологості та температури (2); головний контролер(3); модулі керування кліматичними установками(4); кліматичні установки(5).

За допомогою сенсорів 2, які являють собою комбіновані сенсори вологості та температури, збирається інформація про температуру та вологість в заданому секторі, за допомогою модуля збору даних дана інформація перетворюється в цифрову форму та за допомогою інтерфейсу RS485 передається в центральний контролер(3), на модулі керування кліматичними установками (4) по інтерфейсу RS485 передаються команди керування за допомогою яких формуються сигнали керування на кліматичні установки (5).

Головний контролер (3) на основі зібраних даних та відповідно до заданого

алгоритму керує мікрокліматом теплиці, проте при великій площі теплиці для отримання об'єктивної інформації про стан мікроклімату в теплиці, кількість сенсорів має бути доволі великою, оскільки наприклад за рахунок природної конвекції, температура на різних висотах теплиці може суттєво відрізнятись, що при невеликій кількості сенсорів на сектор буде неможливо зафіксувати.

2.3 Розроблення модуля системи збору даних

Для проведення моніторингу мікроклімату теплиці необхідно використовувати первинні перетворювачі, зокрема це сенсори температури та вологості, які можуть бути як у вигляді промислових модулів так і безпосередньо самі сенсори. Прикладом може бути сенсор наведений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Сенсор вологості і температури HTM2R-Pt1000 компанії Certa[22]

Даний сенсор дозволяє вимірювати відносну вологість 0-100% з виходом 0-10В та містить сенсор температури Pt1000 (для HTM2R-Pt1000) або NTC10K (для HTM2R-NTC10K). Тобто якщо відносну вологість вимірює сам сенсор та надає пропорційний сигнал напругою 0-10В, то для вимірювання температури надається сенсор в якості платиного терморезистора Pt1000 або терморезистора NTC10K, значення опору якого та перерахунок у відповідну температуру покладається на

зовнішній вимірювальний модуль.

Структура модуля наведена на рисунку 2.6.

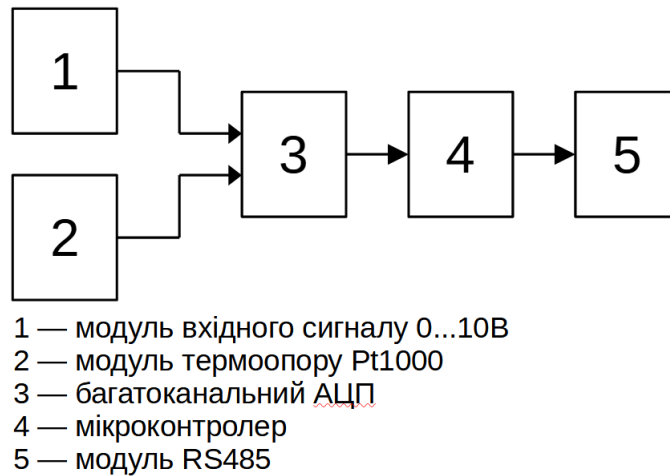


Рисунок 2.6 – Структурна схема модуля збору даних

Даний модуль призначений для роботи з сенсорами які мають вихідні сигнали 0..10В та платиновим терморезистором. Вхідний сигнал за допомогою узгоджуючи блоків (1, 2) передається на багатоканальний дельта-сігма АЦП. Далі оцифровані значення передаються на мікроконтролер де приводяться до відповідних фізичних величин та за допомогою інтерфейсу RS485 передаються в головний контролер. Оскільки модуль збору даних розміщується безпосередньо поблизу сенсора, то це дозволяє максимально точно вимірювати аналогові сигнали, завдяки тому що відстань аналогової лінії є короткою, що запобігає впливу завад на неї, далі всі дані передаються по цифровій лінії, по протоколу Modbus. Що забезпечує надійну роботу при високій віддалі та цілісність даних.

2.4 Розроблення модуля керування кліматичною установкою

Для керування роботою кліматичних установок використовуються модулі керування з дискретними та аналоговими виходами та цифровими входами. Структурна схема модуля керування наведена на рисунку 2.7.

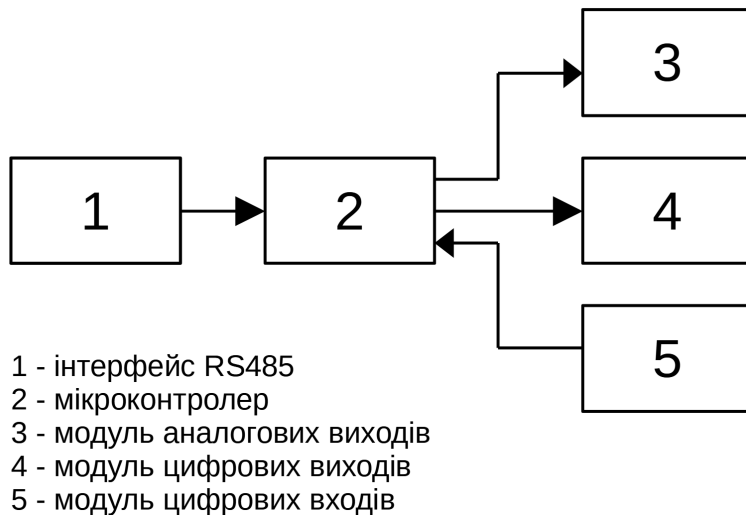


Рисунок 2.7 – Структурна схема модуля керування кліматичною установкою

Даний модуль по інтерфейсу RS485(1) по протоколу Modbus приймає дані для керування кліматичною установкою мікроконтролер(2) використовується для реалізації протоколу обміну та керування аналоговими(3) та цифровими входами/виходами(4,5). Для керування використовуються дискретні виходи які задають ввімкнення кліматичної установки та режим роботи тепло/холод, за допомогою аналогових виходів задаються бажані значення температури та вологості, дискретні входи використовуються для перевірки справності установки.

2.5 Протокол Modbus для системи керування мікрокліматом

В системі керування мікрокліматом необхідно об'єднати всі модулі в мережу оскільки сама система є досить розподіленою. І відповідно необхідно збирати інформацію про стан температури та вологості в різних точках теплиці та формувати сигнали керування для кліматичних установок, які розміщені в іншій частині теплиці. Найбільш доцільно для цього використовувати протокол Modbus[21] який є стандартом для більшості промислового обладнання і дозволяє використовувати в системі як свої модулі так і модулі інших виробників.

Звичайно в різних виробників будуть різні регістри що використовуються

пристрої, тому простою заміною модуля, одного виробника на модуль іншого виробника це не обійдеться, проте поправивши файли конфігурації або програми від цілком зможе коректно працювати, таким чином це дозволяє вибрати найбільш оптимальні модулі на ринку, а у випадку необхідності замінити їх на ті що є в наявності.

Протокол Modbus — це структура обміну повідомленнями, яка широко використовується для встановлення зв'язку «головний-підлеглий» між інтелектуальними пристроями. Повідомлення Modbus, надіслане від головного до підлеглого, містить адресу підлеглого, «команду» (наприклад, «читати реєстр» або «записувати реєстр»), дані та контрольну суму (LRC або CRC).

Оскільки протокол Modbus є лише структурою обміну повідомленнями, він не залежить від основного фізичного рівня. Традиційно реалізується за допомогою RS232, RS422 або RS485

Запит. Функціональний код у запиті повідомляє адресованому підпорядкованому пристрою, яку дію слід виконати. Байти даних містять будь-яку додаткову інформацію, яка знадобиться підпорядкованому пристрою для виконання функції. Наприклад, функціональний код 03 зажадає від підлеглого пристрою прочитати реєстри зберігання та відповісти їхнім вмістом. Поле даних має містити інформацію, що повідомляє підлеглому, з якого реєстру починати і скільки реєстрів читати. Поле перевірки помилок надає метод для підлеглого пристрою перевірити цілісність вмісту повідомлення.

Відповідь. Якщо підлеглий пристрій відповідає нормально, код функції у відповіді є відлунням коду функції у запиті. Байти даних містять дані, зібрані підлеглим, наприклад значення реєстру або статус. Якщо виникає помилка, код функції змінюється, щоб вказати, що відповідь є відповіддю на помилку, а байти даних містять код, який описує помилку. Поле перевірки помилок дозволяє майстру підтвердити, що вміст повідомлення дійсний.

Контролери можуть бути налаштовані на зв'язок у стандартних мережах Modbus за допомогою одного з двох режимів передачі: ASCII або RTU.

Режим ASCII. Коли контролери налаштовані на зв'язок у мережі Modbus за допомогою режиму ASCII (Американський стандартний код для обміну інформацією), кожен восьмибітний байт у повідомленні надсилається як два символи ASCII. Головна перевага цього режиму полягає в тому, що він дозволяє між символами мати часові інтервали тривалістю до однієї секунди, не викликаючи помилки.

Система кодування

Шістнадцяткові друковані символи ASCII 0 ... 9, A ... F

Біт на байт

1 початковий біт

7 бітів даних, молодший біт надсилається першим

1 біт для парності/непарності - без біта для відсутності парності

1 стоп-біт, якщо парність використовується - 2 біти, якщо немає перевірки на помилки перевірки

Подовжена контрольна сума (LRC)

Режим RTU. Коли контролери налаштовані на зв'язок у мережі Modbus за допомогою режиму RTU (віддалений термінальний пристрій), кожен восьмибітний байт у повідомленні містить два чотирибітні шістнадцяткові символи. Основна перевага цього режиму полягає в тому, що більша щільність символів забезпечує кращу пропускну здатність, ніж ASCII, за тієї самої швидкості передачі даних. Кожне повідомлення має передаватися безперервним потоком.

Система кодування

Восьмибітний двійковий, шістнадцятковий 0 ... 9, A ... F

Два шістнадцяткові символи, що містяться в кожному восьмибітному полі повідомлення.

Біт на байт

1 початковий біт

8 біт даних, молодший біт надсилається першим

1 біт для парності/непарності - немає біта за відсутності парності

1 стоповий біт, якщо парність використовується-2 біти, якщо немає парності

Поле перевірки помилок

циклічної перевірки надмірності (CRC)

У режимі ASCII повідомлення починаються символом двокрапки (:) (шістнадцятковий код ASCII 3A) і закінчуються парою символів повернення каретки-переведення рядка (CRLF) (шістнадцятковий код ASCII 0D і 0A).

Допустимі символи, що передаються для всіх інших полів: шістнадцяткові 0 ... 9, A ... F. Мережеві пристрої постійно контролюють мережеву шину на наявність символу двокрапки. Після отримання одиниці кожен пристрій декодує наступне поле (поле адреси), щоб дізнатися, чи є це адресований пристрій.

Між символами в повідомленні можуть бути інтервали до однієї секунди. Якщо інтервал більший, приймаючий пристрій припускає, що сталася помилка. Типовий кадр повідомлення показано нижче.

RTU Framing. У режимі RTU повідомлення починаються з інтервалу мовчання довжиною щонайменше 3,5 символів. Це найпростіше реалізувати як кратне число символів на швидкості передачі, яка використовується в мережі (показано як T1-T2-T3-T4 на малюнку нижче). Перше поле, яке потім передається, є адресою пристрою.

Допустимі символи, що передаються для всіх полів: шістнадцяткові 0 ... 9, A ... F. Мережеві пристрої постійно контролюють мережеву шину, в тому числі під час тихих інтервалів. Коли перше поле (поле адреси) отримано, кожен пристрій декодує його, щоб дізнатися, чи це адресований пристрій.

Після останнього переданого символу аналогічний інтервал принаймні 3,5 символів позначає кінець повідомлення. Нове повідомлення може початися після цього інтервалу.

Весь кадр повідомлення повинен передаватися безперервним потоком. Якщо перед завершенням кадру виникає інтервал мовчання довжиною більше 1,5 символів, приймаючий пристрій очищає неповне повідомлення та припускає, що

наступний байт буде полем адреси нового повідомлення.

Подібним чином, якщо нове повідомлення починається раніше ніж на 3,5 символу після попереднього повідомлення, приймаючий пристрій вважатиме його продовженням попереднього повідомлення. Це призведе до помилки, оскільки значення в остаточному полі CRC не буде дійсним для комбінованих повідомлень. Типовий кадр повідомлення показано наведено на рисунку 2.8.

Start	Address	Function	Data	CRC	End
3.5 Char time	8 Bit	8 Bit	N * 8Bit	16 Bit	3.5 Char time

Рисунок 2.8 – Типовий кадр повідомлення modbus

Поле адреси кадру повідомлення містить два символи (ASCII) або вісім бітів (RTU). Окремим веденим пристроям призначаються адреси в діапазоні 1 ... 247.

Поле коду функції повідомляє адресованому підлеглому, яку функцію виконувати.

Наступні функції підтримуються опитуванням Modbus

- 01 - читання стану котушки
- 02 - читання вхідного статусу
- 03 - читання регістрів зберігання
- 04 - читання вхідних регістрів
- 05 - запис одної котушки
- 06 - запис одного регістру
- 15 - запису кількох котушок
- 16 - запису кількох регістрів

Поле даних містить запитувані або надіслані дані.

Вміст поля перевірки помилок. Для стандартних мереж Modbus використовуються два типи методів перевірки помилок. Вміст поля перевірки помилок залежить від методу, який використовується.

Якщо режим ASCII використовується для кадрів символів, поле перевірки

помилки містить два символи ASCII. Символи перевірки помилок є результатом обчислення поздовжньої перевірки надлишковості (LRC), яке виконується для вмісту повідомлення, за винятком початкової двокрапки та кінцевих символів CRLF.

Символи LRC додаються до повідомлення як останнє поле перед символами CRLF.

Коли для кадрування символів використовується режим RTU, поле перевірки помилок містить 16-бітне значення, реалізоване у вигляді двох восьмибітних байтів. Значення перевірки помилки є результатом обчислення перевірки циклічної надлишковості, виконаного для вмісту повідомлення.

Поле CRC додається до повідомлення як останнє поле в повідомленні. Коли це зроблено, спочатку додається молодший байт поля, а потім старший байт. Старший байт CRC є останнім байтом, який надсилається в повідомленні.

При роботі по протоколу Modbus зазвичай немає потреби використовувати всі функції, а деякі з них певною мірою дублюються, тому розглянемо лише найбільш часто вживані.

Функція 03 (03hex) Читання регістрів зберігання

Читання двійкового вмісту регістрів зберігання в підпорядкованому пристрої.

Запит

У повідомленні запиту вказується початковий регістр і кількість регістрів для читання.

Приклад запиту на читання 0...1 (реєстри 40001 - 40002) від підлеглого пристрою 1(рисунок 2.9).

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	01	0 1
Function	03	0 3
Starting Address Hi	00	0 0
Starting Address Lo	00	0 0
Quantity of Registers Hi	00	0 0
Quantity of Registers Lo	02	0 2
Error Check Lo	C4	LRC (F A)
Error Check Hi	0B	
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	8	17

Рисунок 2.9 – Структура кадру запиту по 3-й функції

Відповідь. Дані регістру у повідомленні відповіді упаковані по два байти на регістр, з вирівнюванням двійкового вмісту вправо в кожному байті. Для кожного регістра перший байт містить старші біти, а другий — молодші.

На рисунку 2.10 наведено приклад відповіді на запит.

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	01	0 1
Function	03	0 3
Byte Count	04	0 4
Data Hi	00	0 0
Data Lo	06	0 6
Data Hi	00	0 0
Data Lo	05	0 5
Error Check Lo	DA	LRC (E D)
Error Check Hi	31	None
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	9	19

Рисунок 2.10 – Структура кадру відповіді по 3-й функції.

Функція 04 (04hex) Читання вхідних регістрів

Читання двійкового вмісту вхідних регістрів у підпорядкованому пристрої.

Запит. У повідомленні запиту вказується початковий регістр і кількість регістрів для читання. Приклад запиту на читання 0...1 (регістри від 30001 до 30002) від підлеглого пристрою 1 (рисунок 2.11).

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	01	0 1
Function	04	0
Starting Address Hi	00	0 0
Starting Address Lo	00	0 0
Quantity of Registers Hi	00	0 0
Quantity of Registers Lo	02	0 2
Error Check Lo	71	LRC (F 9)
Error Check Hi	CB	
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	8	17

Рисунок 2.11 – Структура кадру запиту по 4-й функції

Відповідь. Дані реєстру у повідомленні відповіді упаковані по два байти на регістр, з вирівнюванням двійкового вмісту вправо в кожному байті. Для кожного регістра перший байт містить старші біти, а другий — молодші.

Приклад відповіді на запит наведено на рисунку 2.12.

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	01	0 1
Function	04	0 4
Byte Count	04	0 4
Data Hi	00	0 0
Data Lo	06	0 6
Data Hi	00	0 0
Data Lo	05	0 5
Error Check Lo	DB	LRC (E C)
Error Check Hi	86	None
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	9	19

Рисунок 2.12 – Структура кадру відповіді по 4-й функції.

Функція 16 (10hex) Запис кількох регістрів. Записує значення в послідовність регістрів зберігання.

Запит. У повідомленні запиту вказуються посилання на реєстри, які потрібно записати. Регістри адресуються, починаючи з нуля, регістр 1 адресується як 0.

Запитані значення запису вказуються в полі даних запиту. Дані упаковуються по два байти на регістр.

На рисунку 2.13 наведено приклад запиту на запис двох регістрів, починаючи з 40002 до 00 0A та 01 02 hex, у підпорядкованому пристрої 17:

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	11	1 1
Function	10	1 0
Starting Address Hi	00	0 0
Starting Address Lo	01	0 1
Quantity of Registers Hi	00	0 0
Quantity of Registers Lo	02	0 2
Byte Count	04	0 4
Data Hi	00	0 0
Data Lo	0A	0 A
Data Hi	01	0 1
Data Lo	02	0 2
Error Check Lo	C6	LRC (C B)
Error Check Hi	F0	
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	13	23

Рисунок 2.13 – Структура кадру запиту по 16-ї функції

Відповідь. Звичайна відповідь повертає адресу підпорядкованого пристрою, код функції, початкову адресу та кількість записаних регістрів. На рисунку 2.14 наведено приклад відповіді на наведений вище запит.

Field Name	RTU (hex)	ASCII Characters
Header	None	: (Colon)
Slave Address	11	1 1
Function	10	1 0
Starting Address Hi	00	0 0
Starting Address Lo	01	0 1
Quantity of Registers Hi	00	0 0
Quantity of Registers Lo	02	0 2
Error Check Lo	12	LRC (D C)
Error Check Hi	98	
Trailer	None	CR LF
Total Bytes	8	17

Рисунок 2.14 – Структура кадру відповіді по 16-ї функції.

3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛІВ СИСТЕМИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1 Розроблення апаратного забезпечення для керування кліматичною установкою

В даній системі для керування кліматичною установкою доцільно розробити свій модуль керування. В функції даного модуля входять: входять модуль з дискретними входами, модуль з дискретними виходами та модуль з аналоговими виходами.

Для розроблення модуля було розроблено принципові схеми, які можна поділити на дві частини: процесорну та силову (додаток А).

В процесорну частину схеми входять такі основні частини: мікроконтролер; модуль RS-485; модуль живлення; дисплей і кнопки керування.

В силовій частині наведеній в додатку А можна виділити наступні модулі: модуль аналогових входів; модуль дискретних входів; модуль дискретних виходів; модуль аналогових виходів.

Для проектування даного модуля використано програмне забезпечення Altium Designer (рисунок 3.1).

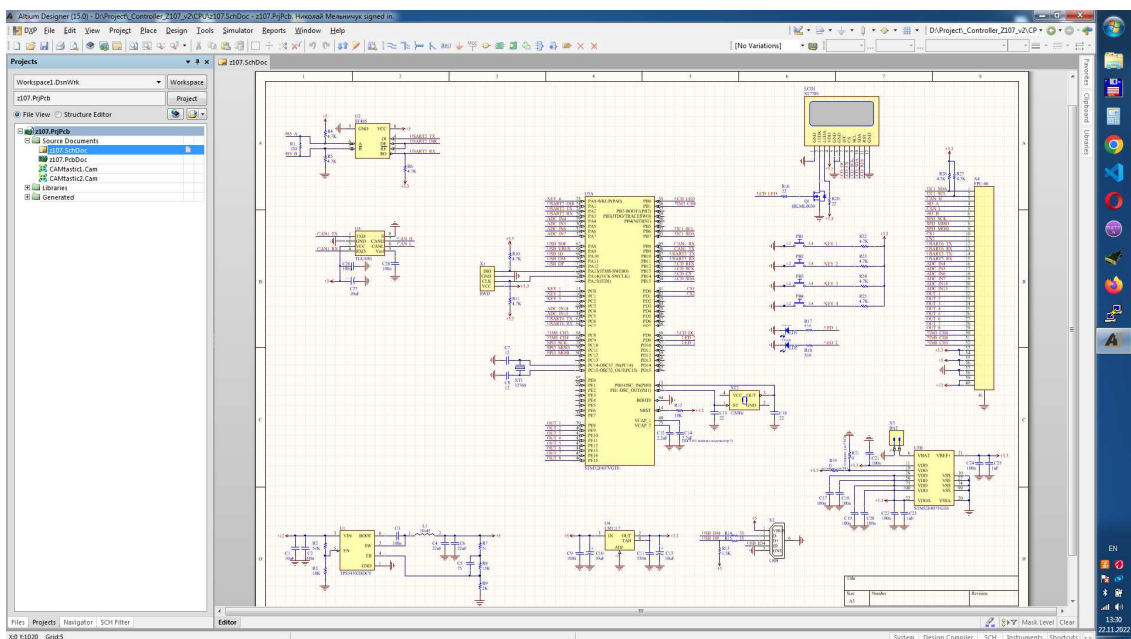


Рисунок 3.1 – Проектування принципової схеми модуля керування

На рисунку 3.2 наведено процес проектування друкованої плати.

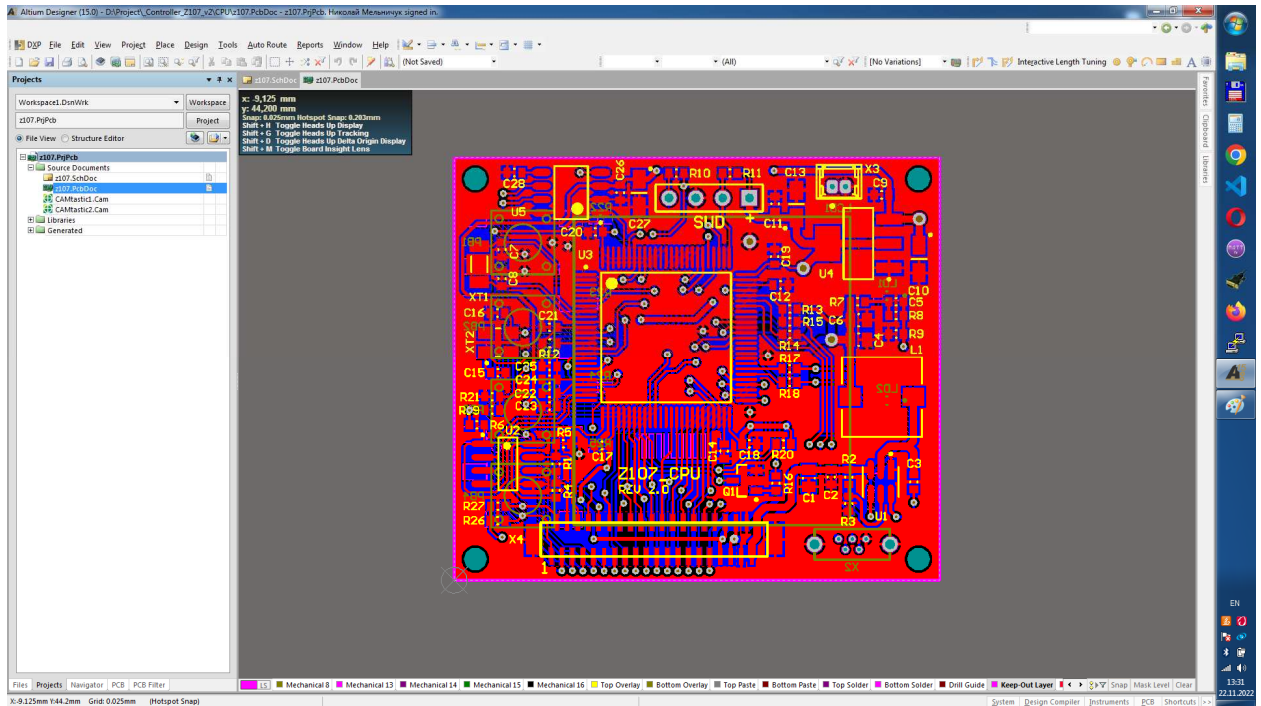


Рисунок 3.2 – Проектування друкованої плати пристрою

Також додатковою зручністю даного засобу проектування є можливість виведення 3d моделі проектованої плати (рисунок 3.3).

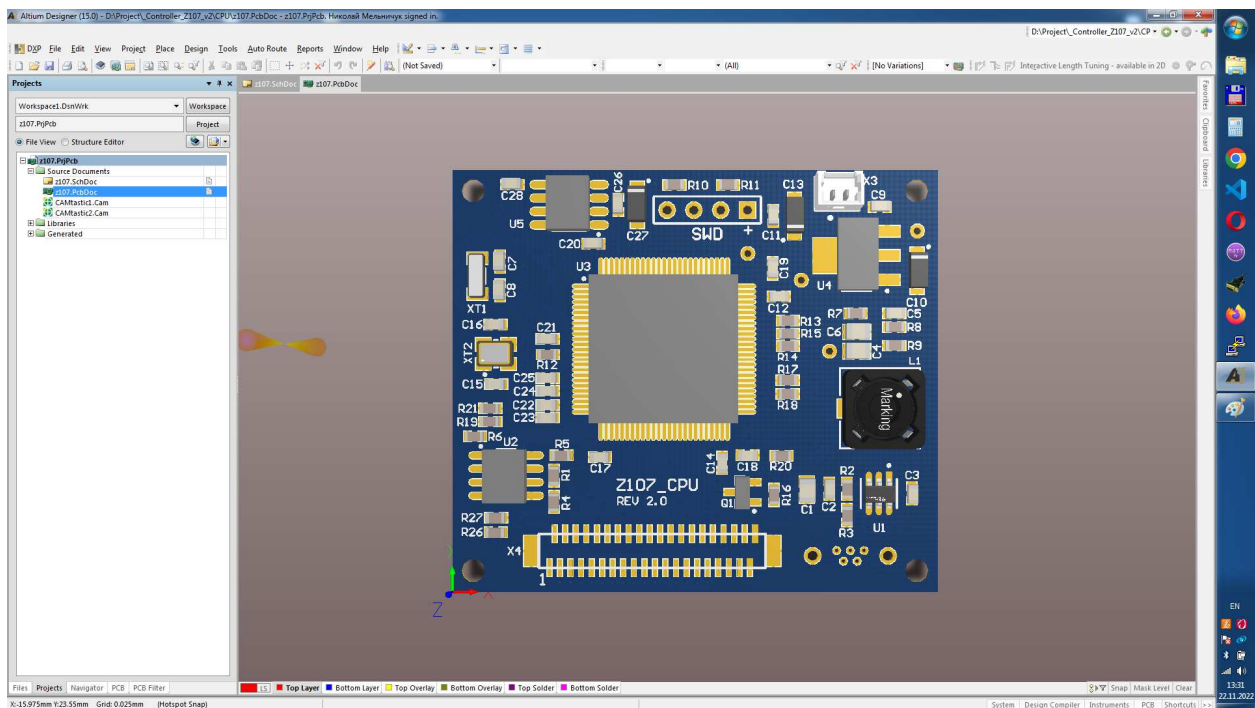


Рисунок 3.3 – 3d модель процесорного модуля

Для розроблення програмного забезпечення використано програмний засіб STM32CubeIde (рисунок 3.4).

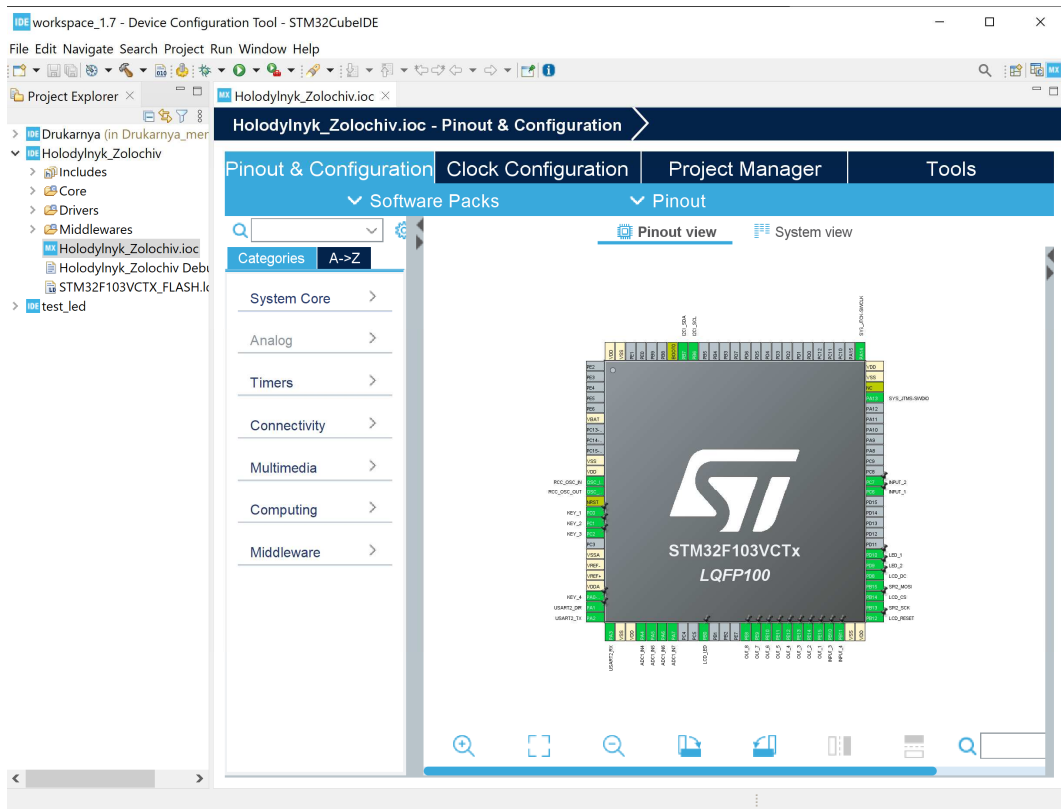


Рисунок 3.4 – Конфігурація мікроконтролера у STM32CubeIDE

Також дане середовище розробки дозволяє проводити розроблення програмного забезпечення та його відлагодження рисунок 3.5.

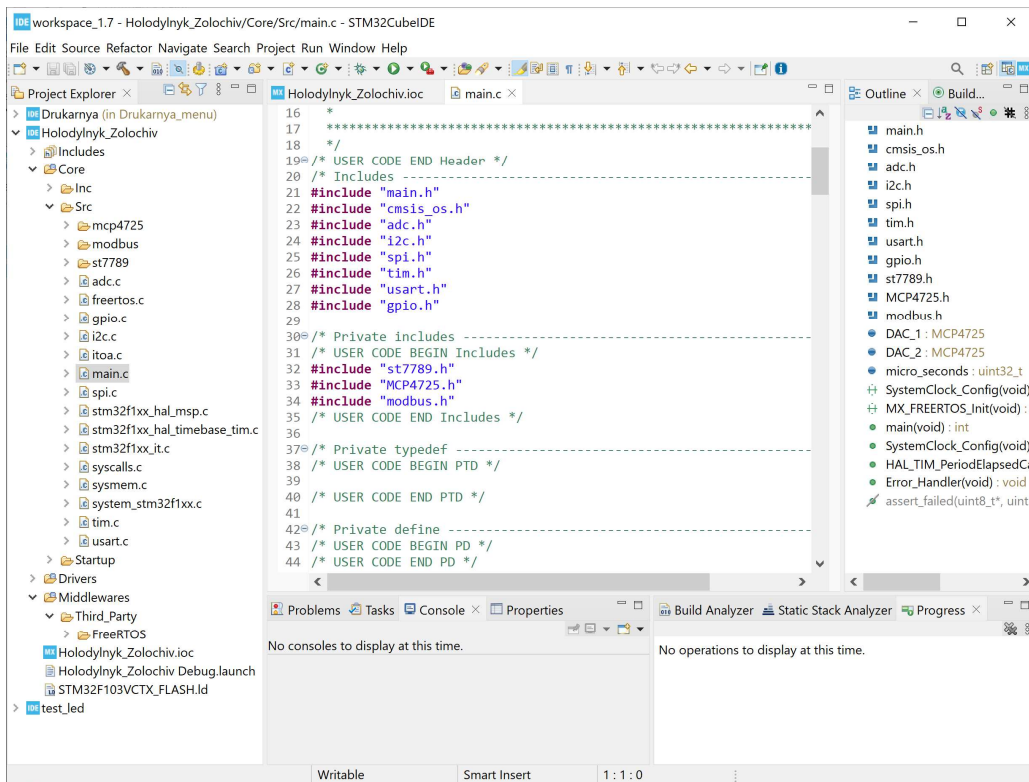


Рисунок 3.5 – Розроблення програмного забезпечення в STM32CubeIde

Результатом проведеної роботи є розроблений модуль керування кліматичною установкою, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд модуля керування кліматичною установкою.

Даний модуль призначений для керування кліматичною установкою і в даному випадку він являє собою по суті модуль розширення портів з інтерфейсом RS485 та підтримкою протоколу Modbus. Тобто він може транслювати команди головного контролера який передає дані по протоколу Modbus в сигнали на фізичних виходах, а також дозволяє зчитувати значення сигналів з фізичних дискретних та аналогових входів.

Даний модуль дозволяє головному контролеру керувати групою кліматичних установок по мережі, а також зчитувати їхній стан. На дисплеї модуля відображається стан входів/виходів модуля (рисунок 3.7).

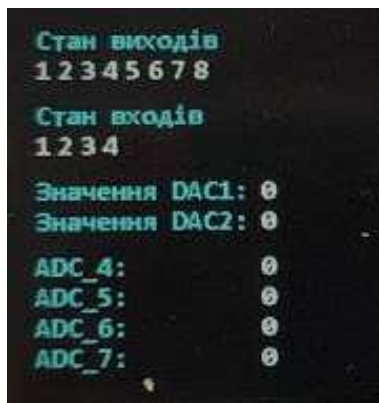


Рисунок 3.7 – Дисплей модуля керування

Також за допомогою кнопок та меню налаштування можна встановити параметри модуля, зокрема налаштувати його мережеву адресу.

Внутрішня будова модуля наведена на рисунку 3.8.

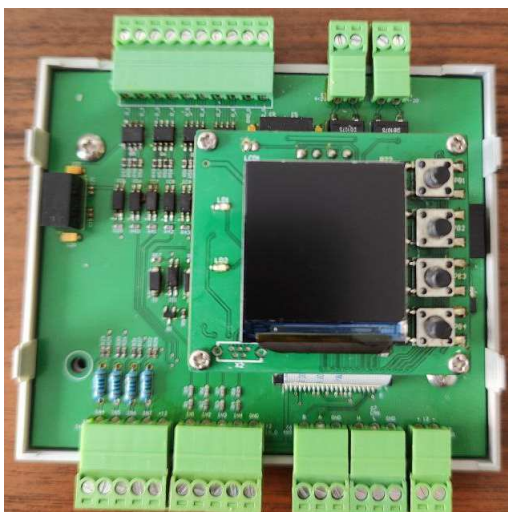


Рисунок 3.8 – Внутрішня будова модуля

Код програми модуля керування наведено в додатку В. Контролер при наявності відповідної програми може і сам керувати кліматичною установкою, але для цього йому потрібна інформація з розподіленої сенсорної мережі. Оскільки в теплиці для якої проектується дана система передбачено 4 кліматичні установки, то прийнято рішення що збором інформації та виробленням сигналів керування займатиметься головний контролер, який в залежності від ситуації в різних ділянках теплиці вмикатиме потрібні кліматичні установки.

3.2 Проектування головного контролера

Для керування системою мікроклімату теплиці доцільно використати програмований логічний контролер (PLC). При цьому головний контролер повинен здійснювати моніторинг температурного режиму та вологості в різних ділянках теплиці, здійснювати керування кліматичними установками та відображати аналітичну інформацію та дозволяти здійснювати налаштування роботи системи.

Оскільки для роботи головного контролера згідно структурної схеми (рисунок 2.4) потрібно лише два інтерфейси RS485 і пристрій для відображення

інформації. То доцільно використати сенсорний панельний контролер, наприклад СПК1xx [19](рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд сенсорних панельних контролерів СПК107 і СПК110

Для розроблення програмного забезпечення використано IDE CodeSYS[20], яке дозволяє виконувати розробку програмного забезпечення на одній зі стандартних мов програмування IEC61131-3. Зовнішній вигляд IDE CodeSYS наведено на рисунку 3.10.

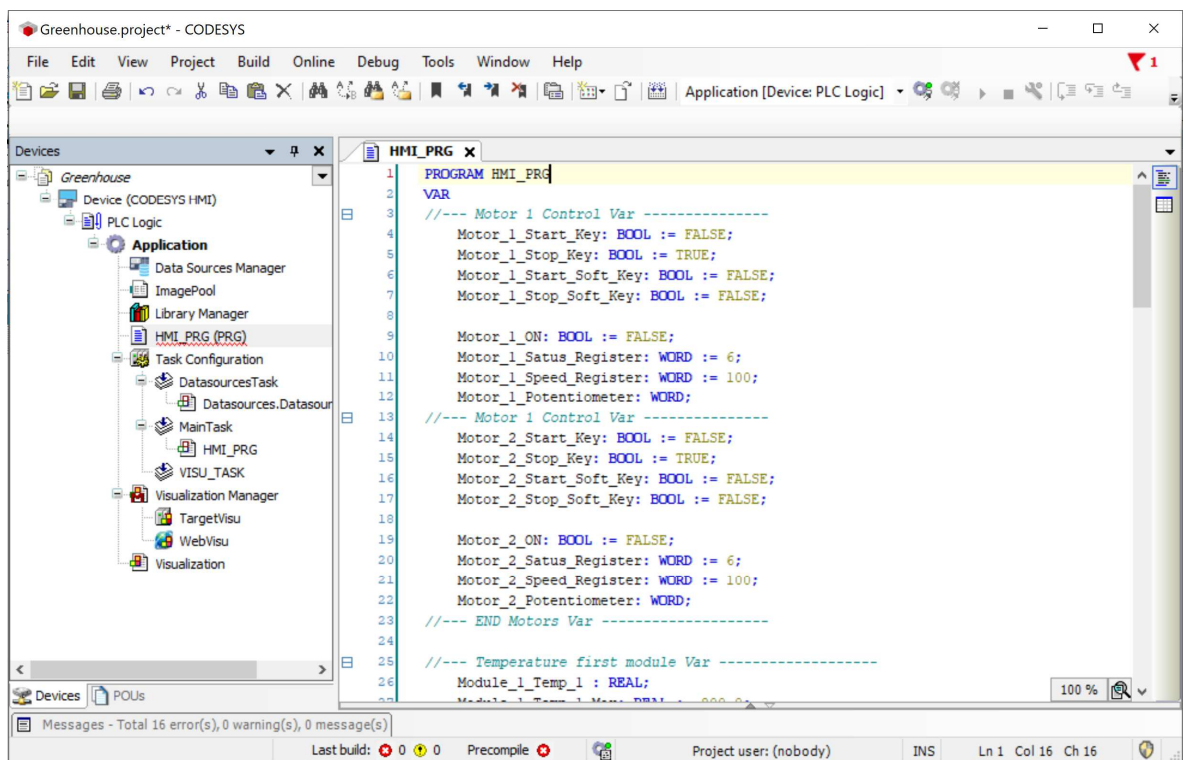


Рисунок 3.10 – Середовище розробки CodeSYS

Відповідно в даному середовищі можна також розробити НМІ інтерфейс програми.

Відповідно до задачі в інтерфейсі потрібно відображати значення вологості та температури в різних ділянках теплиці, та стан кліматичних установок, в зв'язку з тим що в даних кліматичних установках використовується керування не по цифровому інтерфейсу, а за допомогою дискретних та аналогових сигналів, ми можемо відображати лише «бажані» значення, які ми подаємо на установку, і відображати чи вона працює чи знаходиться в помилці.

Цього в принципі достатньо, оскільки правильно налагоджена програма буде подавати коректні сигнали керування, а помилки кліматичної установки зазвичай усуваються лише відповідними фахівцями, тому для обслуговуючого персоналу достатньо знати чи вона працює чи потрібно викликати відповідних фахівців для ремонту обладнання. Завдяки тому що їх є кілька (в даному випадку 4) вихід з ладу однієї-двох установок не є критичним і має дозволити працювати системі в межах граничних значень.

На рисунку 3.11 наведений інтерфейс системи керування мікрокліматом.



Рисунок 3.11 – Інтерфейс системи керування мікрокліматом

В даному інтерфейсі відображено стан вологості і температури в різні зонах теплиці, їх в даному випадку розділено на 4 групи, якщо в якійсь групі якийсь параметр виходить за межі встановлених значень, то іконка в даній групі зафарбовується червоним кольором.

Також в правій частині інтерфейсу виводиться інформація про параметри які передаються на кліматичні установки, та стан їх роботи: ввімкнено/вимкнено, норма/помилка.

3.3 Побудова логіко-статистичної інформаційної моделі для контролю параметрів температури та вологості

Для забезпечення якісного функціонування теплиці та оптимального розвитку росли необхідно підтримувати значення температури в межах 18-24 t,°C та значення рівня відносної вологості в діапазоні 60-80%. Для контролю заданих параметрів доцільно використати логіко-статистичні інформаційні моделі(ЛСІМ)[18], зокрема в даному випадку найбільш ефективним буде використання ЛСІМ1. Дана модель здійснює контроль параметрів по амплітуді, де її можна задати у наступному вигляді:

$$a_{k_i} = \begin{cases} 0, & \text{при } E2_k < x_{k_i} < E1_k, \\ 1, & \text{при } x_{k_i} < E1_k, x_{k_i} > E2_k; \end{cases} \quad (3.1)$$

де x_{k_i} – значення амплітуди сигналу в i -му каналі;

k – дискретний системний час;

$E1_k, E2_k$ – апертура допустимих відхилень в k -му каналі.

В результаті застосування даної моделі на певному інтервалі часу отримаємо послідовність «0» і «1», в котрій «0» це коли значення знаходиться в межах допустимого діапазону, а «1» коли значення виходять за межі заданого діапазону:

$$L1 = \{a_1, a_2, \dots, a_m, \dots\} . \quad (3.2)$$

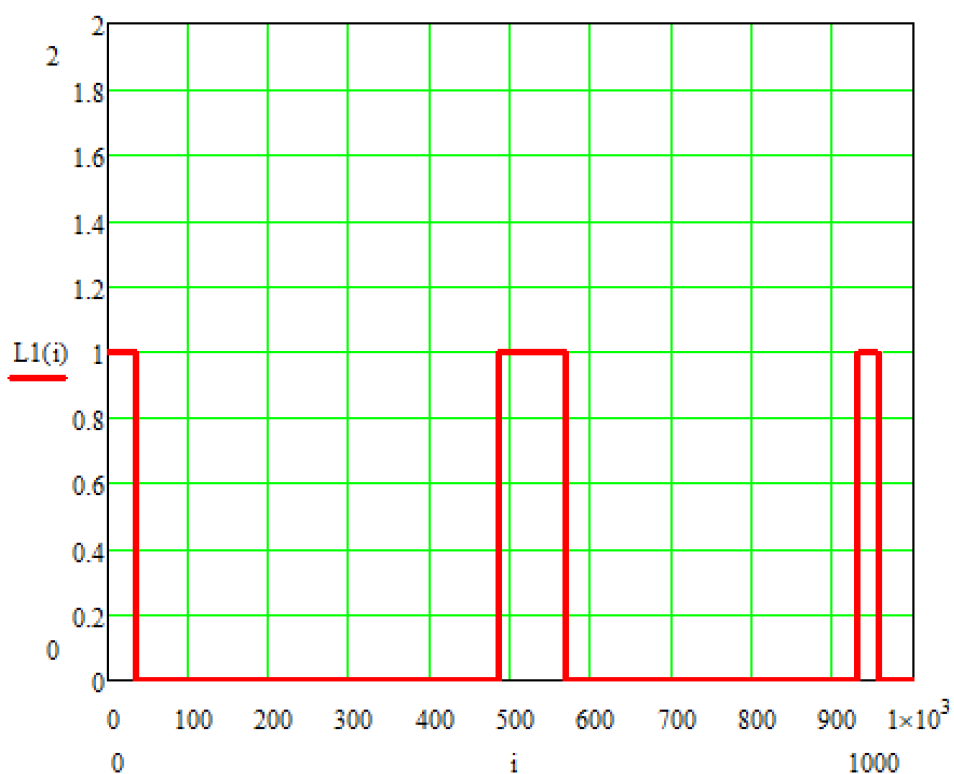


Рисунок 3.13 – Графік ЛСІМ1 в залежності від температури, що наведена на рисунку 3.12.

Як видно з даних графіків що наведені на рисунках .3.12 та 3.13 ЛСІМ1 за нормальних умов, коли контрольовані параметри знаходять в межах допустимих значень формує нульові значення на виході, а при виході за задані значення формує сигнал одиниці, який може використовуватись як в системі керування так і для сигналізації виходу системи за межі оптимальних значень.

Аналогічну модель можна побудувати для значень вологості(рисунок 3.14), як відомо з попередніх розділів, що оптимальна вологість для росту рослин знаходиться в діапазоні від 60% до 80%.

В даній системі значення $E1 = 60\%$, а значення $E2 = 80\%$.

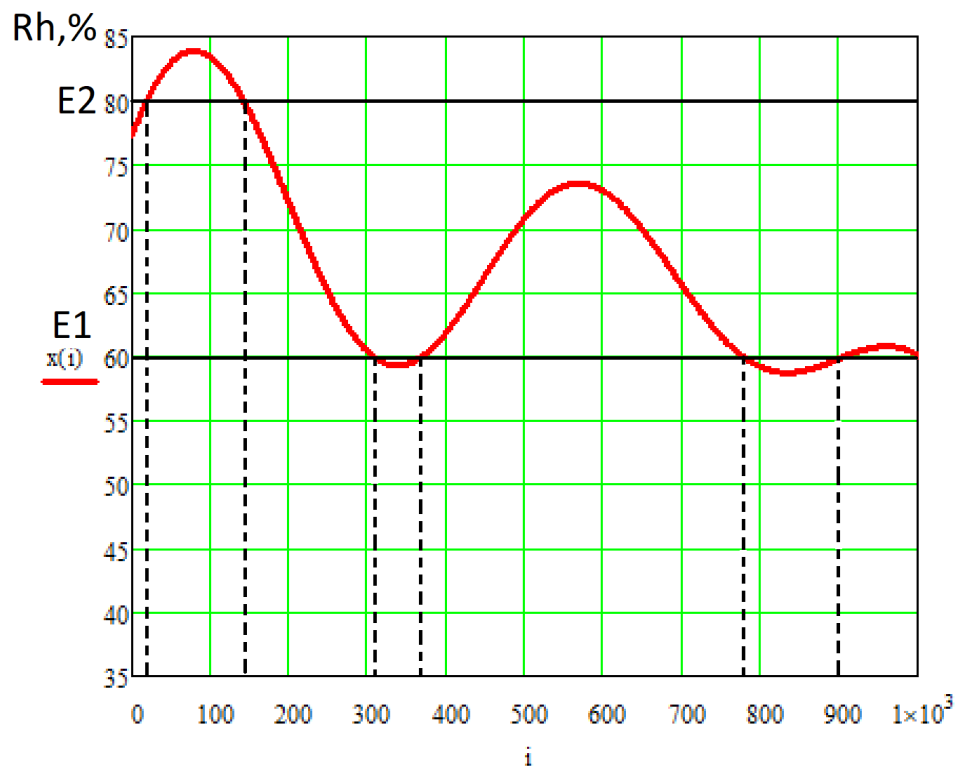


Рисунок 3.14 – Графік зміни вологості в теплиці

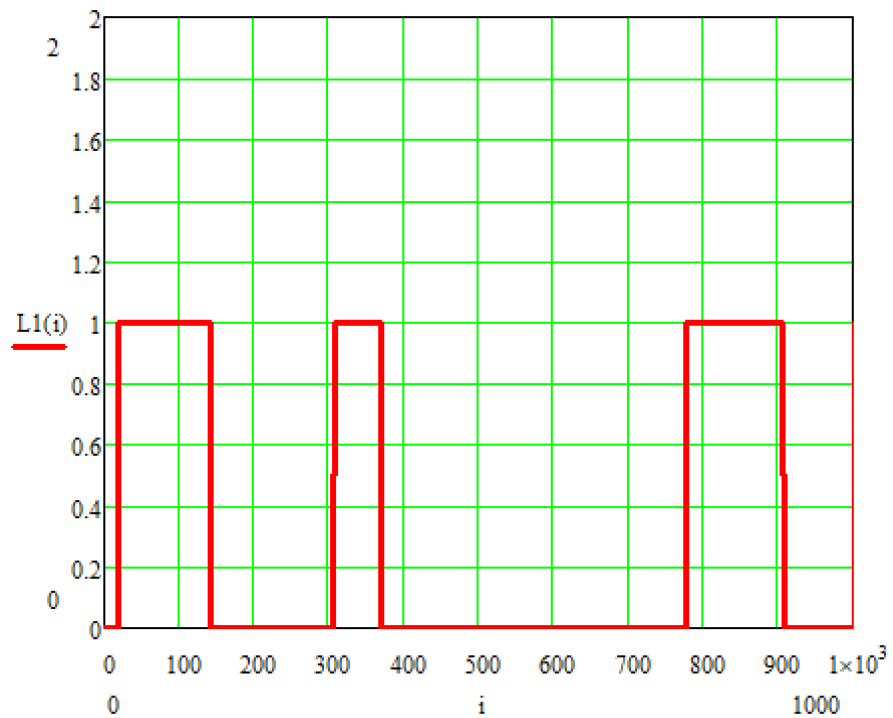


Рисунок 3.15 – Графік ЛСІМ1 в залежності від вологості, що наведена на рисунку 3.14.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи було проаналізовано параметри мікроклімату в теплицях та фактори які впливають на ефективність росту та розвитку рослин. А також проаналізовано фактори що впливають на гальмування та зупинку росту рослин, а також розвиток різноманітних хвороб рослин у теплицях.

При цьому проведений аналіз показав що найважливішими параметрами мікроклімату є: температура, вологість та освітленість. Звичайно що подача поживного розчину та його якісні показники теж мають важливе значення, але це виходить за межі даної роботи. Тому основну увагу приділено саме контролю та підтримці оптимальному рівню вологості як найважливішого показника і температурі, оскільки температурний діапазон ефективного розвитку рослин також є обмеженим.

Розроблено структуру системи керування мікрокліматом, визначено елементи системи та її компоненти. Розроблено структури ключових модулів системи та проведено повне проектування модуля керування кліматичною установкою. В даному модулі передбачено дискретні і аналогові входи/виходи та інтерфейс RS485 з реалізацією протоколу Modbus, що дозволяє його використовувати в будь-яких інших промислових системах автоматизацій.

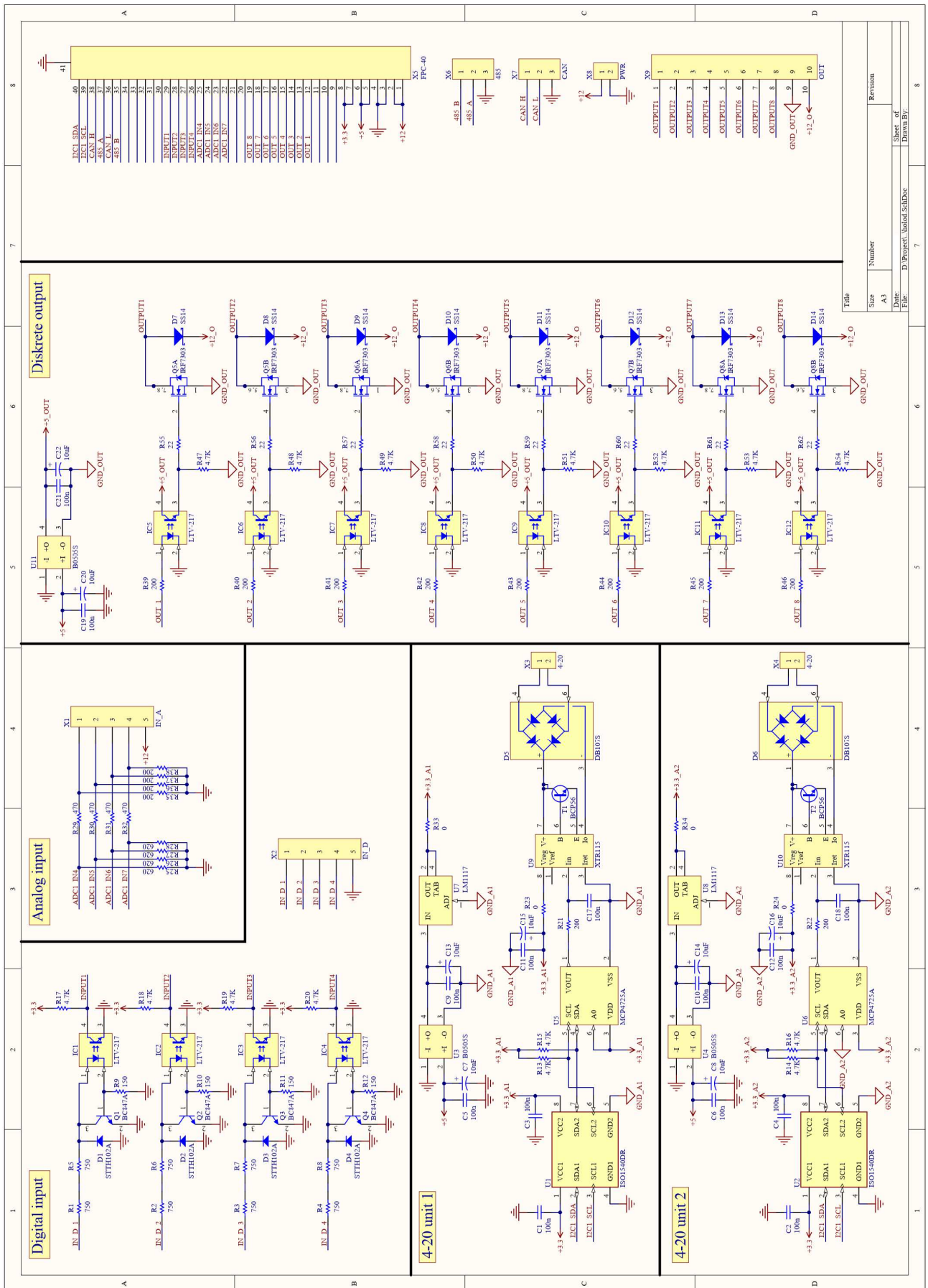
Проведено розроблення головного контролера з НМІ інтерфейсом, для керування мікрокліматом в теплиці та розроблено логіко-статистичні інформаційні моделі для контролю температурного режиму та вологості в тепличному господарстві, що дозволяє проаналізувати та покращити мікроклімат для підвищення врожайності.

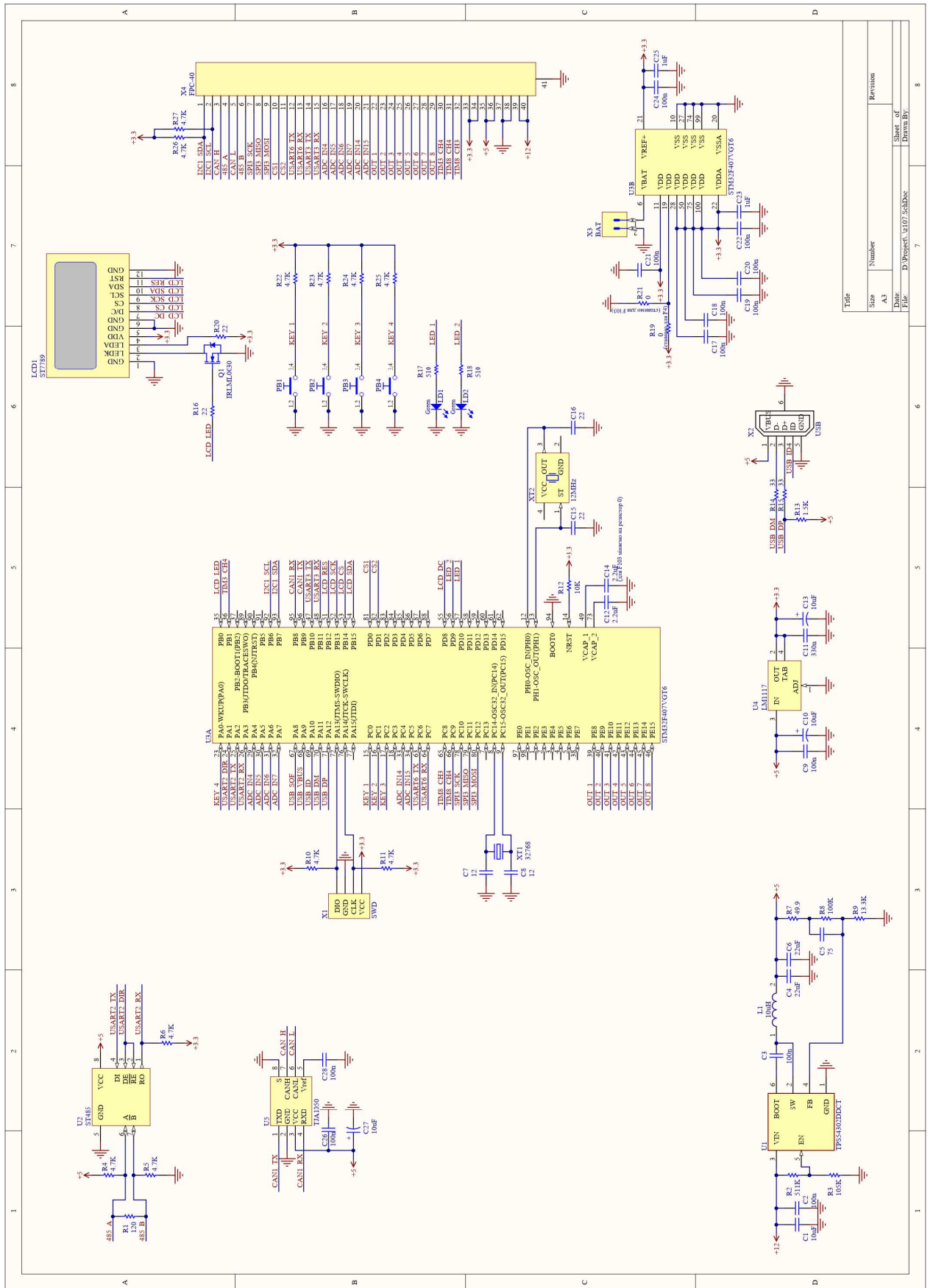
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соломаха І. В. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизованого поливу рослин. Теорія і практика стратегічного управління розвитком галузевих і регіональних суспільних систем : матеріали VI Міжн. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 11-13 жовт. 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. с. 301-303.
2. Бакало О. О., Пилипенко Ю. М. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці. Технології та дизайн. 2018. № 3 (28). Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_3_19.
3. Growlight. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Grow_light
4. Warren Gay Beginning STM32: Developing with FreeRTOS, libopencm3 and GCC 1st ed. Edition // Apress; 1st ed. Edition, 2018 – 430p.
5. Muhammad Ali Mazidi, Shujen Chen, Eshragh Ghaemi STM32 Arm Programming for Embedded Systems (Volume 6) First Edition // MicroDigitalEd; - 2018 – 378p.
6. Joseph Yiu The definitive Guide to the ARM Cortex-M. -3 USA Linacre House, Jordan Hill, Oxford.- 2007. – 359p.
7. Kurniawan A. Getting Started With STM32 Nucleo Development // PE Press, 2019. — 137 p.
8. Gay Warren. Beginning STM32: Developing with FreeRTOS, libopencm3 and GCC // Apress, 2018. — 409 p.
9. Kurniawan A. MicroPython for STM32 Nucleo Technical Workshop (+code) // PE Press, 2018. - 125 p.
10. Norris Donald. Programming with STM32: Getting Started with the Nucleo Board and C/C++ // McGraw-Hill Education, 2018. — 304 p.
11. Noviello C. Mastering STM32. Rel.0.21 // Leanpub, 2018. — 819 p.
12. Watanabe K. Introduction to STM32 ARM Microcontroller with STM HAL-Library & SW4STM32 (+ sources code) // Amazon Digital Services LLC, 2018. — 99 p.

13. Raji Adil. Convert SFC to electrical diagram and to a program for all types of PLCs // Amazon Digital Services LLC, 2019. — 25 p.
14. Rehg J.A., Sartori G.J. Programmable Logic Controllers // New York: Pearson, 2013. — 575 p.
15. Bolton W. Programmable Logic Controllers // 6th edition. — New York: Newnes, 2015. — 424 p.
16. Petruzella F.D. Activities Manual for Programmable Logic Controllers // New York: McGraw-Hill, 2016. — 401 p.
17. Chakraborty K., De P., Roy I. Industrial Applications of Programmable Logic Controllers and Scada // Hamburg: Anchor Academic Publishing, 2016. — 82p.
18. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації: монографія / Я.М. Николайчук. — Тернопіль: ТНЕУ, Економічна думка, 2008. — 396 с.
19. СПК1xx. Сенсорні панельні контролери з Ethernet. Режим доступу: <https://owen.ua/ua/sensorni-panelni-kontrolery/spk1xx-sensorni-panelni-kontrolery-z-ethernet>
20. CODESYS DEVELOPMENT SYSTEM. Режим доступу: <https://www.codesys.com/products/codesys-engineering/development-system.html>
21. Modbus tools. For test, simulation and programming. Режим доступу: <https://www.modbustools.com/modbus.html>
22. Сенсори вологості і температури. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://certa.com.ua/products/sensors/ht/HTM2RHM2R/>
23. Система керування кліматом теплиці. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://owen.ua/project/greenhouse_climate_control_system

Додаток А. Модуль керування кліматом. Схема електрична принципова .





Додаток Б. Текст програми мікроконтролера модуля керування кліматом.

```
/* USER CODE BEGIN Header */
/**
 * *****
 * @file      : main.c
 * @brief     : Main program body
 * *****
 * @attention
 *
 * <h2><center>&copy; Copyright (c) 2021 STMicroelectronics.
 * All rights reserved.</center></h2>
 *
 * This software component is licensed by ST under Ultimate Liberty license
 * SLA0044, the "License"; You may not use this file except in compliance with
 * the License. You may obtain a copy of the License at:
 *
 *          www.st.com/SLA0044
 *
 * *****
 */
/* USER CODE END Header */

/* Includes -----*/
#include "main.h"
#include "cmsis_os.h"
#include "adc.h"
#include "i2c.h"
#include "spi.h"
#include "tim.h"
#include "usart.h"
#include "gpio.h"

/* Private includes -----*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "st7789.h"
#include "MCP4725.h"
#include "modbus.h"
/* USER CODE END Includes */
```

```

/* Private typedef -----*/
/* USER CODE BEGIN PTD */

/* USER CODE END PTD */

/* Private define -----*/
/* USER CODE BEGIN PD */
/* USER CODE END PD */

/* Private macro -----*/
/* USER CODE BEGIN PM */

/* USER CODE END PM */

/* Private variables -----*/

/* USER CODE BEGIN PV */
MCP4725 DAC_1;
MCP4725 DAC_2;
uint32_t micro_seconds = 0;

/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
void MX_FREERTOS_Init(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */

/* USER CODE END PFP */

/* Private user code -----*/
/* USER CODE BEGIN 0 */

/* USER CODE END 0 */

/**

```

```

    * @brief The application entry point.
    * @retval int
    */
int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */
    __set_PRIMASK(1);
    SCB->VTOR = 0x08008000;
    __set_PRIMASK(0);
    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration-----*/

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick.
    */
    HAL_Init();

    /* USER CODE BEGIN Init */

    /* USER CODE END Init */

    /* Configure the system clock */
    SystemClock_Config();

    /* USER CODE BEGIN SysInit */

    /* USER CODE END SysInit */

    /* Initialize all configured peripherals */
    MX_GPIO_Init();
    MX_SPI2_Init();
    MX_TIM4_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_I2C1_Init();
    MX_TIM2_Init();
    MX_USART2_UART_Init();
    /* USER CODE BEGIN 2 */

```

```

__HAL_RCC_BKP_CLK_ENABLE(); //Ввімкнути тактування backup
__HAL_SPI_ENABLE(&hspi2);

HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2); //Таймер для modbus
// HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim4); //Таймер для відліку часу по 1 сек.

LCD_LED_H();
ST7735_Init();
ST7735_Clear(BLACK);

DAC_1 = MCP4725_init(&hi2c1, MCP4725A0_ADDR_A01, 3.30);
DAC_2 = MCP4725_init(&hi2c1, MCP4725A0_ADDR_A00, 3.30);

//timer 0.0001sec one symbol on 9600 ~1ms
uart2.delay = 10; //30 //modbus gap
uart2.delay_master = 1000; //30 ModBus TimeOut

LL_USART_EnableIT_RXNE(USART2);
LL_USART_EnableIT_TC(USART2);

SET_PAR[0] = 1;
//modbus address

OUT_1(GPIO_PIN_RESET);
OUT_2(GPIO_PIN_RESET);
OUT_3(GPIO_PIN_RESET);
OUT_4(GPIO_PIN_RESET);
OUT_5(GPIO_PIN_RESET);
OUT_6(GPIO_PIN_RESET);
OUT_7(GPIO_PIN_RESET);
OUT_8(GPIO_PIN_RESET);

/* USER CODE END 2 */

/* Call init function for freertos objects (in freertos.c) */
MX_FREERTOS_Init();
/* Start scheduler */

```

```

osKernelStart();

/* We should never get here as control is now taken by the scheduler */
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
}

/**
 * @brief System Clock Configuration
 * @retval None
 */
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit = {0};

    /** Initializes the RCC Oscillators according to the specified parameters
     * in the RCC_OscInitTypeDef structure.
     */
    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSEPredivValue = RCC_HSE_PREDIV_DIV1;
    RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL6;
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```



```

}

/** Initializes the CPU, AHB and APB buses clocks
*/

RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYCLK
                               |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;

RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_2) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_ADC;
PeriphClkInit.AdcClockSelection = RCC_ADCPCLK2_DIV6;
if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

/* USER CODE BEGIN 4 */

/* USER CODE END 4 */

/**
 * @brief Period elapsed callback in non blocking mode
 * @note This function is called when TIM1 interrupt took place, inside
 * HAL_TIM_IRQHandler(). It makes a direct call to HAL_IncTick() to increment
 * a global variable "uwTick" used as application time base.
 * @param htim : TIM handle
 * @retval None
 */
void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    /* USER CODE BEGIN Callback 0 */

```

```

/* USER CODE END Callback 0 */
if (htim->Instance == TIM1) {
    HAL_IncTick();
}
/* USER CODE BEGIN Callback 1 */

/* USER CODE END Callback 1 */
}

/**
 * @brief This function is executed in case of error occurrence.
 * @retval None
 */
void Error_Handler(void)
{
    /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
    /* User can add his own implementation to report the HAL error return state */
    __disable_irq();
    while (1)
    {
    }
    /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT
/**
 * @brief Reports the name of the source file and the source line number
 * where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source number
 * @retval None
 */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
    /* USER CODE BEGIN 6 */
    /* User can add his own implementation to report the file name and line number,

```

```
ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line) */
/* USER CODE END 6 */
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

/***** (C) COPYRIGHT STMicroelectronics *****/
```

