

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделев
“ ____ ” _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: «Підвищення ефективності керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту»

Пояснювальна записка

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

151 – МНР – 671. 21717111

Студент _____ Льговський А.С.

Керівник _____ Сіделев М. І.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.
(дата)

Миколаїв – 2023

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Сіделев М.І., доцент кафедри АКІТ	13.10.2022	
2	Сіделев М.І., доцент кафедри АКІТ	03.01.2023	
3	Сіделев М.І., доцент кафедри АКІТ	03.04.2023	
4	Сіделев М.І., доцент кафедри АКІТ	03.04.2023	
5	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	19.04. 2023	

8. Дата видачі завдання «17» жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2022	
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	01.10.2022	
3	Формування завдання	13.10.2022	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2022	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2022	
6	Виконання першої частини	01.12.2022	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	29.12.2022	
8	Опрацювання другої частини	01.03.2023	
9	Робота над третьою частиною	03.04. 2023	
10	Робота над розділом з охорони праці	12.05. 2023	
11	Передзахисти	15.05. 2023	
12	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	28.06. 2023	

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Льговський А.С.

Підвищення ефективності керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Магістерська кваліфікаційна робота із спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології. – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2023.

Мета даної роботи полягає у підвищенні ефективності керування мікрокліматом у спорудах захищеного ґрунту. В роботі проведено огляд літератури на цю тему, а також проаналізовано існуючі методи та засоби контролю мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту. На основі отриманих даних розроблені рекомендації щодо підвищення ефективності управління мікрокліматом у таких спорудах.

Під час розробки створена робоча модель системи з використанням платформи Arduino Nano. Об'єднане керування функціями виконавчих пристроїв на одному мікропроцесорі розширило можливості використання системи і зменшило її вартість. Розроблені функціональна та принципова електричні схеми, вибрані елементи системи, виготовлена друкована плата для монтажу елементів системи, а також створений і протестований експериментальний зразок автоматизованої системи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту.

У зв'язку зі зростанням попиту на сільськогосподарські культури і розвитком аграрного напрямку, виникає необхідність у автоматизації процесів вирощування рослин протягом усього року за допомогою теплиць як в загальнодержавному секторі, так і в малих господарствах та садибах для власного використання. Прості теплиці з сонячним обігрівом на присадибних ділянках не завжди можуть надати необхідну увагу важливим аспектам, що може призвести до стресу рослин. Відповідно, рослини можуть переохолоджуватися вночі або перегріватися вдень під сильним сонцем. Особливо негативний вплив спостерігається в теплицях, які знаходяться на садових або городніх ділянках, що далеко від місця постійного проживання власників. Тому автоматизація процесів вирощування рослин в закритому ґрунті з використанням методів забезпечення необхідного мікроклімату та своєчасного поливу є надзвичайно актуальною в аграрному світі.

ABSTRACT

Lhovskii A.S.

Improving the efficiency of microclimate management in protected ground structures. Master's work of specialty in 151 Automation and computer-integrated technologies.- Mykolaiv, CNU named after Petra Moguli, 2023.

The purpose of this study is to develop and test measures to improve the efficiency of microclimate management in protected ground structures. A literature review on this topic was conducted, and existing methods and means of microclimate control in protected ground structures were analyzed. Based on the data obtained, recommendations were developed to improve the efficiency of microclimate management in such structures.

During the development, a working model of the system was created using the Arduino Nano platform. Combining the control of the functionality of the executive bodies on a single microprocessor expanded the system's use and reduced its cost. Functional and circuit diagrams were developed, system elements were selected, a printed circuit board for mounting the system elements was manufactured, and an experimental model of an automated microclimate control system in protected ground structures was created and tested.

Due to the growing demand for agricultural crops and the development of the agricultural sector, there is a need to automate the processes of growing plants throughout the year with the help of greenhouses both in the public sector and in small farms and estates for personal use. Simple solar-heated greenhouses in household plots cannot always provide the necessary attention to important aspects, which can lead to plant stress. As a result, plants can become overcooled at night or overheated during the day under strong sun. This is especially true in greenhouses that are located in garden plots that are far from the owners' place of residence. Therefore, the automation of indoor plant growing processes using methods to ensure the necessary microclimate and timely watering is extremely relevant in the agricultural world.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	10
1.1 Технічний опис об'єкта автоматизації.....	10
1.2 Технічні засоби автоматизації контролю за параметрами мікроклімату в теплиці	13
1.2.1 Розгляд даних про датчики температури, вологості та складу газів	17
1.2.2 Температурні датчики	18
1.2.3 Датчики вологи.....	20
1.2.4 Датчики складу повітря.....	22
1.2.5 Мікроконтролери та мікропроцесори	24
1.3 Патенти.....	27
1.4 Завдання на проектування.....	34
Висновки до першого розділу.....	35
2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	36
2.1 Розробка функціональної схеми системи керування відповідно до технічного завдання.....	36
2.2 Опис компонентів апаратної частини функціональної схеми.....	39
2.3 Розробка програмної частини системи керування	52
Висновки до другого розділу	56
3. РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	57
3.1 Розробка електричної принципової схеми системи керування мікрокліматом.....	57
3.2 Розрахунок потужності системи	60
3.3 Конструктивне виконання шафи керування.....	62
3.4 Економічна складова проекту	65
Висновки до третього розділу.....	67
4. МЕТОДИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	68

4.1 Загальний огляд можливих методів (законів) керування. Закони керування мікропроцесорними системами виконаних для відслідковування показників з метою їх зміни в необхідний час	68
4.2 ПІД-регуляторний метод керування мікрокліматом.....	70
4.3 Недоліки та переваги обраного методу керування	74
4.4 Створення математичної моделі технологічного процесу, оцінка статичних та динамічних характеристик і визначення передаточної функції для об'єкта управління мікрокліматом у теплиці.....	75
4.5 Дослідження моделі об'єкта керування.....	83
4.6 Створення функціонально-структурних схем САК.....	86
4.7 Аналіз стійкості функціональних моделей	90
4.8 Аналіз якості функціональних моделей.....	93
Висновки до четвертого розділу.....	95
5. УРАХУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТАХ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	96
5.1 Загальні вимоги з питань охорони праці на сільськогосподарських об'єктах захищеного ґрунту.....	96
5.2 Вимоги безпеки до виробничого устаткування і організації робочих місць.	100
5.3 Вимоги пожежної безпеки до територій, будівель, приміщень, споруд.....	102
Висновки до п'ятого розділу	119
ВИСНОВКИ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
ДОДАТОК.....	125

ВСТУП

Розвиток аграрного сектору та зростаючі потреби в продуктах харчування зумовлюють необхідність удосконалення технологій вирощування рослин. Закриті ґрунтові споруди, такі як теплиці, є ефективним інструментом для забезпечення стабільного виробництва продукції протягом усього року. Однак, керування мікрокліматом в таких спорудах може стати проблемою, яка впливає на виробничу продуктивність та якість вирощуваних культур. У зв'язку з цим, підвищення ефективності керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту є актуальною та важливою задачею для сучасного аграрного сектору. У даній магістерській роботі буде досліджено можливості використання технологій автоматизації процесів керування мікрокліматом для забезпечення оптимальних умов росту та розвитку рослин в спорудах захищеного ґрунту.

Актуальність даної магістерської роботи полягає в тому, що в умовах зростаючих потреб у сільгосппродукції та прискореного розвитку аграрного напрямку, необхідно забезпечувати постійний та стабільний ріст рослин у закритому ґрунті. Однак, звичайні теплиці на присадибних ділянках не завжди можуть забезпечити необхідний мікроклімат для рослин, особливо в умовах екстремальної погоди. Тому, розробка ефективної системи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту є важливим завданням. Це дозволить забезпечити необхідний рівень температури, вологості та освітлення для рослин протягом усього року, покращити врожайність та якість продукції та знизити витрати на енергопостачання. Таким чином, дана робота має велике значення для практичної сфери та може мати значний вплив на розвиток аграрного виробництва.

Об'єктом є процеси регулювання температури та вологості повітря і ґрунту, що забезпечують оптимальні параметри мікроклімату для росту рослин у теплиці блочного типу система керування мікрокліматом що включає в себе різноманітні технічні засоби, які забезпечують оптимальні умови зростання та розвитку рослин в закритому ґрунті. Система може включати в себе елементи автоматичного регулювання температури, вологості, освітлення та інших параметрів мікроклімату, а також системи контролю та моніторингу показників мікроклімату.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту для вирощування рослинних культур.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності керування мікрокліматом у спорудах захищеного ґрунту.

Для досягнення поставленої мети в роботі означені **наступні завдання**:

1. Виконати аналітичний огляд патентної інформації та літератури за темою роботи.
2. Розробити функціональну схему автоматизованої системи керування мікрокліматом в теплиці.
3. Розробити електричну принципову схему системи керування мікроклімату.
4. Виготовити експериментальний зразок системи керування мікрокліматом в теплиці.
5. Провести дослідження на стійкість роботи системи автоматизованого керування.
6. Розглянути питання з охорони праці.

Для досягнення поставлених завдань використано наступні **методи дослідження**:

1. Аналітичний метод: Проведено аналіз науково-технічної літератури та патентної інформації щодо керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Цей метод дозволив отримати високоякісну інформацію про наявні технічні рішення, технічні засоби автоматизації та методи керування мікрокліматом.
2. Моделювання та симуляція: Створена математична модель технологічного процесу керування мікрокліматом у теплиці. Застосовуючи методи моделювання та симуляції, проведено дослідження та аналіз якості з метою визначення оптимальних параметрів і режимів роботи системи.
3. Економічний аналіз: Проведена економічна оцінка проекту, включаючи розрахунок потужності системи, вартості необхідного обладнання та його експлуатаційних витрат. Цей аналіз дозволив оцінити ефективність та рентабельність запропонованої системи керування мікрокліматом.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

1.1 Технічний опис об'єкта автоматизації

Багато господарів, які бажають збільшити врожайність своєї дачної ділянки або городу, розглядають можливість придбання парника або теплиці. Однак, хоча обидві споруди здаються схожими, вони мають відмінності між собою і вимагають розуміння того, що кожна з них робить і як вона працює. Існує два типи споруд захищеного ґрунту, кожен з яких спрямований на покращення вирощування рослин і забезпечення їх продуктивності в умовах негативного впливу клімату [1].



Рисунок 1.1 – Парник

Спочатку були розроблені та використовувалися парники (рис.1.1), оскільки вони були прості у конструкції та не потребували вікон або дверей, а також не мали штучного опалення. Головним джерелом тепла для рослин сонце, а додаткове тепло надавалося біологічним обігрівом методом горіння/гниття природного добрива - перегною, на якій зазвичай висаджували рослини. Парники мали висоту близько півметра і покривалися рамами зі скла. Вони могли бути як переносними, так і стаціонарними. Парники майже ніколи не використовують для вирощування вже

дорослих рослин, а зазвичай вони використовуються для вирощування розсади. Без парників висадження розсади в холодний весняний ґрунт може закінчитися загниванням кореневищ.

Французькі оранжереї 16 століття були прототипами теплиць, які були призначені для вирощування екзотичних рослин, які не могли вижити в більш суворому кліматі, та обладнані спеціальними пічками для опалення. Популяризація теплиць почалася завдяки винаходу поліетиленової плівки, яка була легкою та універсальною.

Сучасні теплиці, зображені на рис. 1.2, представлені у вигляді різноманітних типах конструкцій і використовують більш нові та технологічні матеріали, такі як спанбонд або сотовий полікарбонат, та мають захищений ґрунт і оптимальну висоту близько двох з половиною метрів. Промислові теплиці можуть бути вищими і більшими, щоб вміщувати людей та сільськогосподарську техніку. Теплиці зазвичай обігріваються сонячним теплом, а в дуже холодні періоди можуть використовуватися обігрівачі. Рослини можна вирощувати в теплицях круглий рік, починаючи з розсади [4].

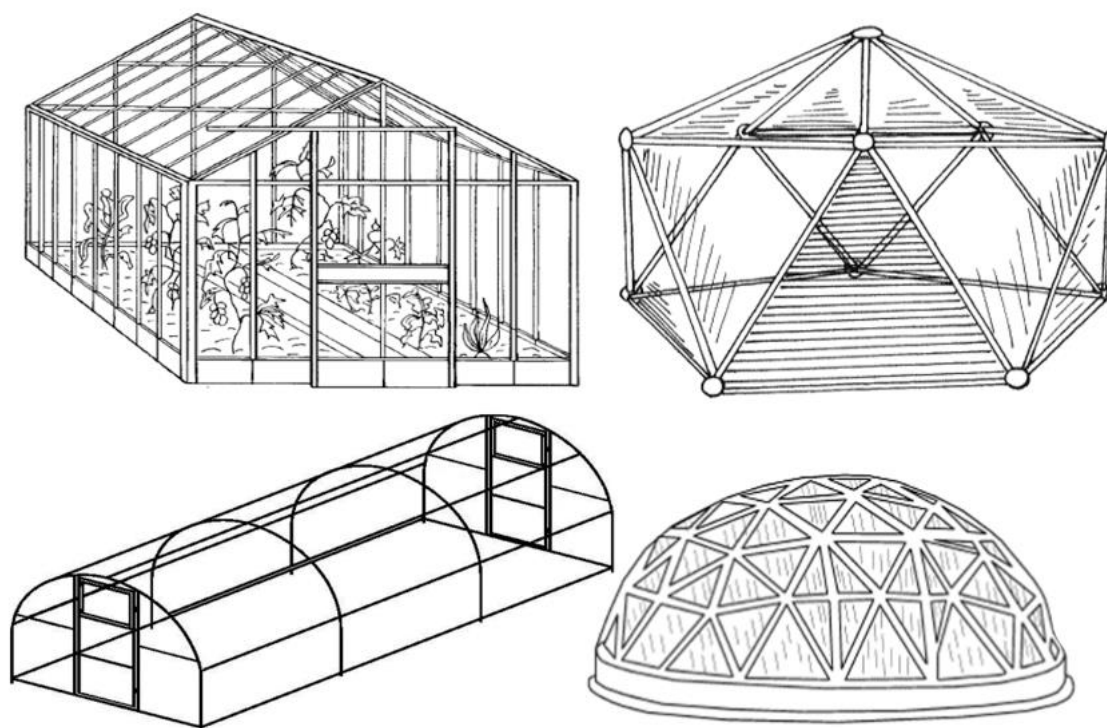


Рисунок 1.2 – Теплиці різної конструкції каркасів

Кліматичні зміни призводять до вимирання рослин, які раніше були характерні для певних регіонів України, оскільки з'являються несприятливі умови для їх вирощування відкритим методом. Для розширення можливостей вирощування рослин та забезпечення людей свіжими овочами і фруктами у холодну пору року використовують споруди з захищеним ґрунтом, такі як парники та теплиці, де можна створити необхідні умови для зростання рослин. Важливо створювати оптимальні умови для середовища вирощування в цих спорудах. Наприклад, примхливий сорт томатів Чері потребує спеціальних умов для успішного зростання та плодоношення, можна побачити на прикладі рис. 1.3 [3].



Рисунок 1.3 – Томати Чері

На жаль, багато людей, які вирощують рослини на своїх присадибних ділянках, не приділяють достатню увагу утриманню простих теплиць з сонячним обігрівом. Це призводить до того, що рослини постійно перебувають у стресових умовах, переживаючи переохолодження вночі та перегрівання вдень при дуже сонячній погоді. Це особливо стосується теплиць, розташованих на садових або

городніх ділянках, що знаходяться далеко від місця постійного проживання власника. У таких теплицях рідко хто відвідує їх поза вихідними днями, тому немає можливості своєчасно змінювати клімат, що часто призводить до його далекого від оптимального. Однак дотримання певного температурного режиму в теплиці може підвищити врожайність до 3-4 разів [2].

Україна має особливість того, що близько 75% населення самі забезпечують себе рослинними продуктами влітку та восени, вирощуючи їх на своїх садибних ділянках. Проте, людям часто бракує можливості постійного контролю мікроклімату в теплиці, а придбання дорогих систем не є можливим. Багато людей використовують підручні рішення, такі як гідроциліндри для автоматичного відкривання вікон при високих температурах або бочки з малими отворами для поливу, але такі рішення не є надійними та ефективними. Тому, є потреба в створенні простої, але якісної системи керування мікрокліматом в теплиці.

1.2 Технічні засоби автоматизації контролю за параметрами мікроклімату в теплиці

Не секрет, що на всі процеси життєдіяльності рослини значно впливає кліматичний режим в теплиці, будь-які відхилення від оптимальної температури чи вологи, можуть негативно вплинути на якість і кількість врожаю. Для різних фаз життєвого циклу рослин потрібні різні показники температури, і інші параметри, такі як вологість і рівень вуглекислого газу, що також мають важливе значення. Щоб забезпечити оптимальні умови для рослин, необхідно автоматизувати системи контролю мікроклімату в теплиці. Автоматика в теплиці дозволяє забезпечити комфортну температуру, автоматично поливати рослини, регулювати рівень освітлення для фотосинтезу і опалювати теплицю в холодні пори року. Такі системи контролю мікроклімату допомагають забезпечити найкращі умови для росту і розвитку рослин, а також підвищують якість та кількість врожаю. Головним є потреба врахувати і створити найкраще поєднання параметрів мікроклімату в

теплицях буде можливо лише за допомогою автоматизованого технологічного процесу.

Для забезпечення рослин життєво важливих умов у теплиці застосовується автоматика, яка включає декілька основних систем:

- Регулювання температури в приміщенні за допомогою автоматичного провітрювання;
- Автоматизація поливу рослин в заданий час або в залежності від потреби;
- Забезпечення необхідного рівня освітлення для активного процесу фотосинтезу;
- Опалення теплиці в холодний період року.

Розглянемо те, що на сьогодні пропонується на ринку. На даний момент на ринку переважно представлені окремі рішення у вигляді спеціалізованих систем, що потребують індивідуального підбору та зборки компонентів для вирішення певних аспектів вирощування рослин. Нажаль, господарі, що бажають знайти загальне рішення для вирощування рослин, нерідко змушені займатись компонуванням своїх теплиць за допомогою різноманітної електроніки та систем, які відповідають за різні аспекти, такі як полив, опалення та інші. Це процес, який вимагає періодичної переналадження та управління кожною окремою системою. З цих причин автоматизація є необхідною для забезпечення ефективності та оптимального управління вирощуванням рослин. Розглянемо деякі з них.



Рисунок 1.4 - Електронний контролер поливу WHITE LINE, WL-3130 (3 135 грн)

Контролер поливу WHITE LINE, модель WL-3130 [5], є електронним пристроєм, який призначений для автоматизації поливу рослин в приватних садах, громадських парках, футбольних полях і т.д. Простота використання та широкий функціонал роблять цей прилад ідеальним рішенням для будь-якого застосування.

Контролер WL-3130 має декілька важливих функцій, таких як автоматичний режим, встановлення часу та дати, можливість програмування зрошувальних зон, зміна параметрів зрошення відповідно до потреб рослин і т.д. Для зручності користувача, контролер використовує великий інтуїтивно зрозумілий ЖК-дисплей з підсвічуванням.

WL-3130 має 3 зони зрошення, кожна з яких може бути запрограмована окремо від інших. Це дозволяє встановити різні параметри зрошення для різних зон, що має велике значення для вирощування різних видів рослин з різними потребами в воді. Крім того, контролер WL-3130 має вбудований таймер, який дозволяє встановлювати час запуску зрошення та його тривалість. Це забезпечує можливість налаштування зрошення на оптимальний режим для кожного виду рослин.

Контролер також має декілька режимів зрошення, таких як "Ручний", "Автоматичний" та "Пропуск", які можуть бути встановлені відповідно до потреб користувача. Режим "Ручний" дозволяє запустити зрошення вручну, а "Автоматичний" - автоматично в залежності від налаштувань. Режим "Пропуск" дозволяє пропустити зрошення на певний період часу.



Рисунок 1.5 - CO2 AZ-7530 Контролер з виносним датчиком вуглекислого газу (8230 грн)

AZ Instrument розробив та виготовив контролер CO₂ AZ-7530 (рис. 1.5), який призначений для моніторингу загальної якості повітря в приміщеннях та визначення рівня концентрації вуглекислого газу [6].

Прилад оснащений точним двоканальним інфрачервоним датчиком NDIR, який має низьке значення дрейфу, запрограмовані значення діапазону допустимих концентрацій CO₂ та номінальне значення CO₂ для управління вихідним сигналом, вмикання/вимикання релейного виходу контролера (включається, коли концентрація CO₂ вдвічі нижче середини встановленої зони безпеки, та вимикається, коли концентрація CO₂ перевищує встановлене значення зони безпеки). Контролер має віддалений датчик CO₂, значення концентрації газу відображається в реальному часі у вигляді графіків з шкалою за тиждень/день/годину/хвилину. Для попередження про рівень концентрації CO₂, динамік контролера видає звуковий сигнал, якщо концентрація CO₂ перевищує встановлений поріг центрального значення для безпечної зони, та вимикається, якщо концентрація CO₂ падає нижче цього значення, коли функція активна.

Пристрій має будоване автоматичне визначення дня / ночі для регулювання контрольного рівня CO₂. Якщо контролер використовується в теплиці, контроль CO₂ не потрібен при поганому освітленні. Вбудований зонд для вимірювання CO₂ може автоматично визначати, що сьогодні вранці (якщо освітленість вище 50 lux) або вночі (якщо менше 10 lux). Він може вимкнути генератор CO₂, відключивши живлення на ніч. Якщо, з іншого боку, фотосенсор виявляє світло (освітлення понад 60 lux) і значення CO₂ постійно низьке протягом 30 секунд, система управління запускає генератор CO₂, включаючи джерело живлення. Контролер дозволяє створити автоматизований моніторинг рівня CO₂ в теплицях, цехах, житлових і офісних приміщеннях.



Рисунок 1.6 - Універсальний цифровий контролер температури XH-W1411(500 грн) [7]

Цифровий терморегулятор моделі XH-W1411, також відомий як W88, можна побачити на рис.1.6. Його основні технічні характеристики включають програмований діапазон температур від -55°C до $+120^{\circ}\text{C}$, а також можливість перемикання між режимами опалення і охолодження. XH-W1411 призначений для використання на винокурнях, інкубаторах, теплицях, системах опалення для приватних домогосподарств і промисловості, системах кондиціонування, системах заморожування або опалення на виробництві, а також в системах / технологічних процесах, де необхідно підтримувати задану температуру в межах програмованого діапазону.

1.2.1 Розгляд даних про датчики температури, вологості та складу газів

Перед розпочатком проектування необхідно проаналізувати існуючі датчики, оскільки їх вибір залежить від тих параметрів, які мають бути контрольовані в нашому випадку. У даному проекті ці параметри охоплюють:

- температуру повітря
- температуру води
- вологість ґрунту
- вологість повітря
- склад газів повітря (CO_2)

Існують різноманітні датчики температури, вологості та газового складу, що використовуються в різних галузях промисловості та технологіях.

1.2.2 Температурні датчики

Датчики температури [8] можуть бути термометрами з різними типами датчиків, наприклад термопарними, резистивними, термісторними, а також інфрачервоними датчиками, які вимірюють температуру без контакту з об'єктом.

Термометри **опору** - це тип датчиків температури, які використовуються для вимірювання температури з використанням зміни опору провідника при зміні температури. Вони зазвичай виготовляються з металевих провідників, таких як платина, нікель або мідь, і мають високу точність вимірювання.

Термометри опору (рис. 1.7). вимірюють температуру шляхом вимірювання зміни опору датчика. Збільшення температури призводить до зменшення опору датчика, і навпаки. Для забезпечення точності вимірювання термометрів опору використовують калібрувальні таблиці або математичні формули для перетворення значення опору на температуру.

Термометри опору мають декілька переваг, таких як висока точність, стабільність і надійність вимірювання, а також широкий діапазон температурних вимірювань. Однак, вони також мають певні обмеження, такі як потребу в зовнішньому джерелі живлення і більш високу ціну порівняно з іншими типами датчиків температури.

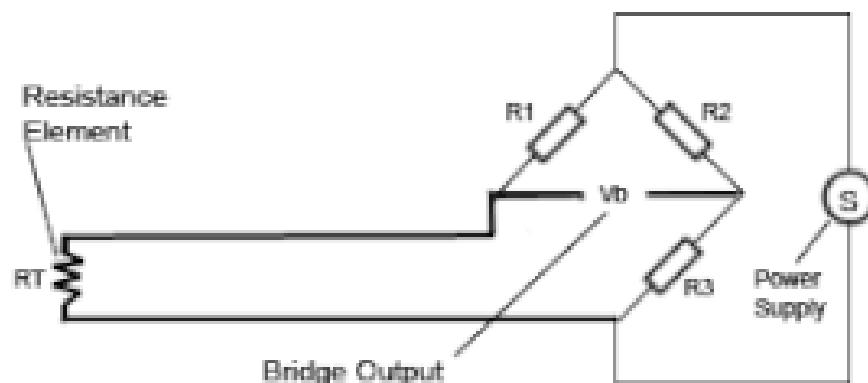


Рисунок 1.7 – Термометр опору ТСП0690

Термопари - це датчики температури, що складаються з двох провідників різних матеріалів, які з'єднані на одному кінці і створюють термічну пару. При зміні температури утворюється електрорушійна сила, яка залежить від різниці температур між кінцями термопари. Термопари широко використовуються в промисловості та наукових дослідженнях, оскільки вони мають широкий діапазон робочих температур і високу точність вимірювання. (рис.1.8).

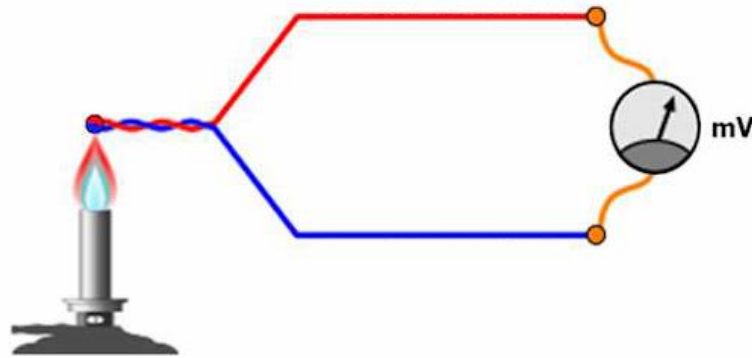


Рисунок 1.8 – Принцип дії термопари

Інфрачервоні датчики температури використовують інфрачервоне випромінювання тіл для вимірювання їх температури. Ці датчики працюють без контакту з об'єктом вимірювання, що дозволяє їх використовувати в труднодоступних місцях або для вимірювання температури об'єктів, які перебувають у русі або обертаються. Інфрачервоні датчики вимірюють інтенсивність інфрачервоного випромінювання тіла, яка залежить від його температури, та перетворюють цю інформацію на цифровий сигнал, що відображає значення температури.



Рисунок 1.9 – Інфрачервоний Датчик PCE-IR 50

1.2.3 Датчики вологи

Датчики вологості - це пристрої, які використовуються для вимірювання кількості водяної пари в повітрі або іншому середовищі. Вони можуть бути оптичними, механічними або електронними і зазвичай вимірюються відносною вологості (%RH). Оптичні датчики вимірюють вологість за допомогою зміни оптичних властивостей матеріалу залежно від вологості, механічні - за допомогою зміни геометричних розмірів матеріалу залежно від вологості, а електронні датчики вимірюють зміну електричного опору матеріалу, залежно від вологості.

Найбільш поширеними типами електронних датчиків вологості є ємнісні датчики, резистивні датчики, психометри та оптичні, резистивні датчики вимірюють зміну опору матеріалу при зміні відносної вологості, а датчики на основі полімерів використовують зміну електричного опору полімерного матеріалу при зміні вологості. Датчики вологості широко використовуються в промисловості, в біомедичних дослідженнях, в системах кондиціонування повітря та в інших галузях, де необхідно контролювати рівень вологості.

Ємнісні датчики вимірюють зміну ємності при зміні відносної вологості. Це пристрої, що складаються з конденсаторів, де повітря виступає в ролі діелектрика (рис. 1.10). Зміна вологості повітря прямо впливає на діелектричну проникність повітря, що призводить до зміни ємності конденсатора. Деякі моделі містять діелектричний матеріал у повітряному зазорі, що забезпечує кращу роботу. За допомогою цих пристроїв можна вимірювати вміст вологи в твердих речовинах, коли вологість перевищує 0,5%. Існують також тонко-плівкові гігromетри з гребінчастими електродами замість обкладок, які мають термодатчики для компенсації [9].

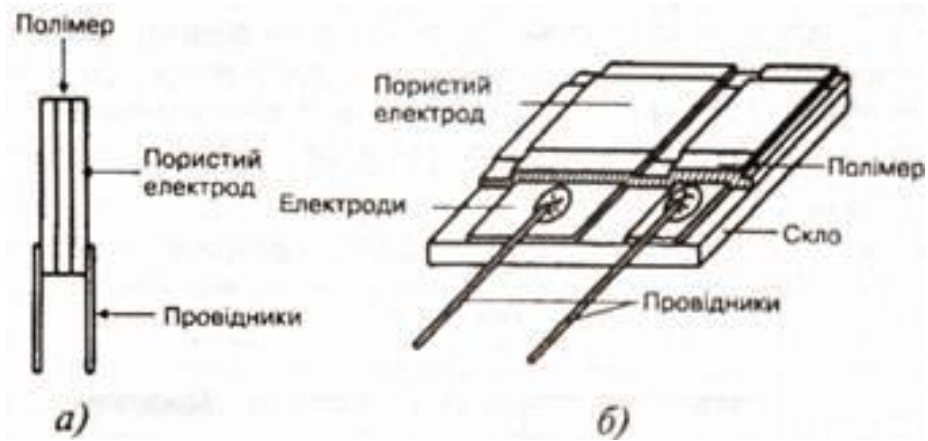


Рисунок 1.10 – Принцип будови ємнісного датчику вологи

Резистивні датчики вологи - це датчики, що змінюють свій опір в залежності від вологості навколишнього середовища. Вони складаються з двох провідників, які знаходяться в діелектричному матеріалі, що вбирає вологу (рис. 1.11). При збільшенні вологості зменшується опір датчика, а при зменшенні - збільшується. Дані датчики досить дешеві та прості в використанні, але мають обмежену точність і вимагають частої калібрування.

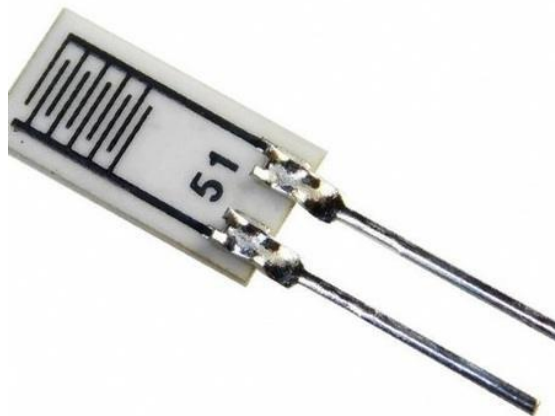


Рисунок 1.11 –Резистивний датчик вологи

Термісторні або психометричні датчики вологи працюють на основі зміни електричного опору термістора або іншого матеріалу залежно від вологості повітря (рис. 1.12). Ці датчики вимірюють відносну вологість шляхом порівняння температури сухого термістора з температурою термістора, який змочено водою. Також можна використовувати два термістори, один з яких захищений від вологи, інший же експонується на вологу, і порівняння їх значень дозволяє вимірювати відносну вологість.



Рисунок 1.12 – Психометричний датчик вологи

Оптичні також носять назву конденсаційні. Це - найточніший тип пристроїв, заснований на такому фізичному понятті як «точка роси». Оптичні датчики вологості вимірюють вологість за допомогою світла, яке проходить через або відбивається від поверхні досліджуваного матеріалу. Вони використовуються в основному для вимірювання вологості повітря, а також для дослідження вологопоглинаючих матеріалів, таких як дерево. Оптичні датчики вологості (рис. 1.13) мають високу точність, але вони можуть бути чутливі до забруднення та інших зовнішніх факторів, що можуть впливати на їхню роботу.



Рисунок 1.13 – Конденсаційний датчик

1.2.4 Датчики складу повітря

Датчики-аналізатори газу можна класифікувати на каталітичні, напівпровідникові та інфрачервоні. [10].

На промислових об'єктах досить поширені **каталітичні** моделі газоаналізаторів (рис. 1.14), що працюють за принципом горіння невеликої кількості газу в спеціальній камері. Навіть незначний рівень концентрації газу може запустити процес горіння, що призводить до зміни опору в одній з двох котушок, що є частинами приладу, тоді як друга котушка вимірює температуру. Електронна система миттєво реагує на зміну опору, а сповіщувач спрацьовує.



Рисунок 1.14 – Каталітичні датчики газу

Напівпровідникові. Моделі напівпровідникових датчиків (рис. 1.15) містять пластину з напівпровідного матеріалу - кремнію, яка покрита спеціальним хімічним складом. При контакті з газом, пластина починає поглинати його, що змінює її електричний опір. Електронна схема виявляє цю зміну і спрацьовує сигналізація. Напівпровідникові датчики призначені для використання в побуті, мають низьку вартість, невеликий споживання електроенергії та широку доступність. Однак, серед недоліків напівпровідникових датчиків можна відзначити повільну відповідь та тривалий час відновлення пластини після спрацьовування.

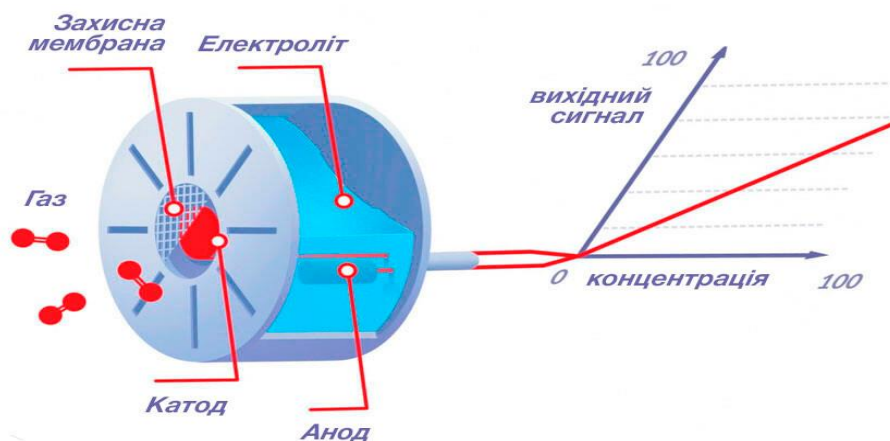


Рисунок 1.15 – Напівпровідниковий датчик газу

Інфрачервоні датчики (рис. 1.16) є найзручнішими та надійними виконаннями. Принцип їх роботи базується на тому, що повітря з частинками газу та повітря без нього по-різному розсіюють світло в інфрачервоному діапазоні. Для аналізу забруднення використовують дві хвилі: еталонну та досліджувану, які проходять через інфрачервоний потік і повертаються назад. Для порівняння показників розсіювання достатньо лише використовувати прилад, який в разі необхідності подає звуковий сигнал. Інфрачервоні датчики мають переваги в швидкому спрацюванні, низькому енергоспоживанні та малій кількості помилкових спрацювань. Однак, мають високу вартість приладів як недолік.



Рисунок 1.16 –Інфрачервоний датчик газу

1.2.5 Мікроконтролери та мікропроцесори

Самі по собі датчики не мають жодної цінності, допоки не буде чогось, що буде збирати та оброблювати данні, які з них надходять. В ролі «мозку» будь якої системи зазвичай виступає мікроконтролер або мікропроцесор. Різниця між мікроконтролером та мікропроцесором наступна: зазвичай мікроконтролер працює з вбудованою флеш-пам'яттю, в якій виконується і зберігається його програма. Саме через це мікроконтролер швидко запускається і дуже швидко виконує код. Єдиним обмеженням використовуючи вбудовану пам'ять є її загальний обсяг. Більшість доступних на ринку мікроконтролерів мають максимальну флеш-пам'ять приблизно 2 Мегабайти, але для деяких задач це може бути негативним фактором.

Мікропроцесор і мікроконтролер - це дві різні категорії електронних пристроїв, які забезпечують обчислювальні можливості для виконання спеціалізованих завдань.

Мікропроцесор - це інтегральна мікросхема, що містить процесор, пам'ять і контролер введення-виведення, тобто основні компоненти для обробки і передачі даних. Вони застосовуються в різних областях, включаючи комп'ютери, мобільні пристрої, телевізори, аудіоплеєри і т.д.

Мікроконтролер - це інтегральна мікросхема, що містить в собі не тільки процесор і пам'ять, але і ряд спеціалізованих периферійних пристроїв, таких як таймери, АЦП, ШІМ-контролери, інтерфейси комунікації і т.д. Ці пристрої дозволяють контролювати і керувати різними зовнішніми пристроями, такими як датчики, мотори, світлодіоди, клавіатури і т.д. Мікроконтролери широко використовуються в автомобільній, медичній, промисловій та побутовій електроніці.

Основна відмінність мікроконтролерів від мікропроцесорів полягає в тому, що мікроконтролери мають вбудовану периферійну електроніку, що дозволяє їм працювати без необхідності використовувати додаткові пристрої. Крім того, мікроконтролери зазвичай мають менше кількості відповідних вихідних і вхідних ліній, порівняно з мікропроцесорами, що робить їх більш зручними для застосування в невеликих системах. В той же час, мікропроцесори зазвичай мають більше розширювальних можливостей та швидкодії, порівняно з мікроконтролерами.

Сьогодні на ринку існує багато різних платформ для побудови автоматизованих систем. Найпопулярнішими з них є контролери програмованої логіки (ПЛК), які зазвичай використовуються для керування промисловим обладнанням і процесами.

Серед виробників ПЛК можна виділити такі компанії, як Siemens, Allen-Bradley, Schneider Electric, Mitsubishi, Omron та інші. Кожна з цих компаній пропонує свої власні рішення для автоматизації різних процесів і машин.

У багатьох випадках, для побудови автоматизованих систем можна використовувати також мікроконтролери і мікропроцесори, які мають меншу вартість і більш гнучкі можливості. Такі платформи зазвичай використовуються для вбудованих систем і IoT-проектів.

Наприклад, однією з популярних платформ для побудови автоматизованих систем є Raspberry Pi, який має багато вбудованих портів для підключення датчиків і пристроїв, а також можливість розширення функціоналу за допомогою модулів і додаткових плат.

Іншим варіантом є Arduino, який також має багато вбудованих портів і може використовуватися для розробки різноманітних проектів, включаючи автоматизовані системи.

Ще однією платформою є BeagleBone, який має вбудований процесор з високою продуктивністю і може використовуватися для створення різноманітних автоматизованих систем, включаючи IoT-проекти.

У загальному, вибір платформи для побудови автоматизованих систем залежить від конкретних вимог і потреб користувача. Вирішення завдання може вимагати використання ПЛК або мікроконтролерів, а також може залежати від бюджету проекту та доступності необхідних компонентів та програмного забезпечення.

ПЛК є найбільш поширеною платформою для автоматизованих систем, оскільки вони мають велику кількість входів-виходів, а також можуть взаємодіяти з іншими системами. Наприклад, вони часто використовуються в промисловості, де потрібно керувати різними процесами, від машинного виробництва до автоматизованих складів. Деякі варіанти ПЛК включають Siemens SIMATIC, Allen-Bradley ControlLogix та Mitsubishi Q Series.

Мікроконтролери, з іншого боку, зазвичай використовуються в менших проектах, які не потребують такої великої кількості входів-виходів. Вони також можуть бути корисними в додатках IoT (інтернету речей), де потрібно забезпечити зв'язок між різними пристроями та системами. Наприклад, деякі варіанти мікроконтролерів включають Arduino та Raspberry Pi.



Рисунок 1.17 ПЛК Fatek FBs-CM25E

1.3 Патенти

Патент № 124727 Пристрій для створення і підтримки мікроклімату у теплицях

Класи МПК:	A01G9/24 пристрої для опалення, вентиляції, регулювання температури і зрошення теплиць, парників і тд
Автор(и):	Осінкін Михайло Дем'янович
Патентовласники(и):	Осінкін Михайло Дем'янович
Пріоритети:	подача заявки: 02.10.2017 публікація патенту: 25.04.2018

Пристрій, призначений для створення та підтримки мікроклімату в теплицях, має інноваційну систему підземного водопроводу. Ця система відрізняється від попередніх моделей тим, що водопровідні труби розміщені в повітропроводах із дренажними отворами, тоді як повітропроводи повинні штовхати та тягнути вихідні отвори за допомогою витяжних вентиляторів. Призначений для використання в сільському господарстві, він може встановлювати та підтримувати певні температури під час вирощування сільськогосподарських культур у захищених надземних спорудах. У попередніх моделях зазвичай використовувалися водопровідні труби, які нагрівалися спеціальними системами, а вентиляційні пристрої знижували температуру. Однак вони мали обмежений період роботи взимку та ранньою весною. Влітку температура знижувалася, оскільки вентилятори циркулювали повітря, а вікна, що відкривалися, не

підтримували необхідний для теплиці мікроклімат. Також можуть потрапити шкідливі комахи, такі як трипси, попелиці та кліщі. Ця інноваційна конструкція забезпечує оптимальну температуру та мікроклімат для певних культур у безпечних ґрунтових умовах завдяки розміщенню підземних водопровідних труб у повітропроводах із дренажними отворами, а вихідні отвори обладнані витяжними вентиляторами для полегшення потоку повітря. На відміну від попередніх моделей, які використовують трубопроводи гарячої води в землі, він забезпечує рівномірний контроль температури.

Пристрій пояснюється кресленнями, на яких (рис. 1.18) зображена схема повітрообміну в теплиці (рис. 1.19) - витяжного повітропроводу (рис. 1.20) - показано розташування повітроводів.

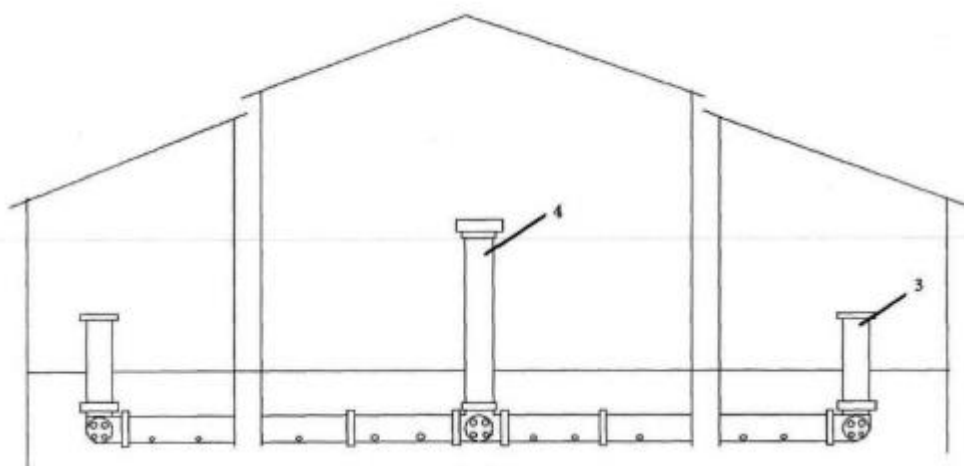


Рисунок 1.18 Схема вентиляції в теплиці

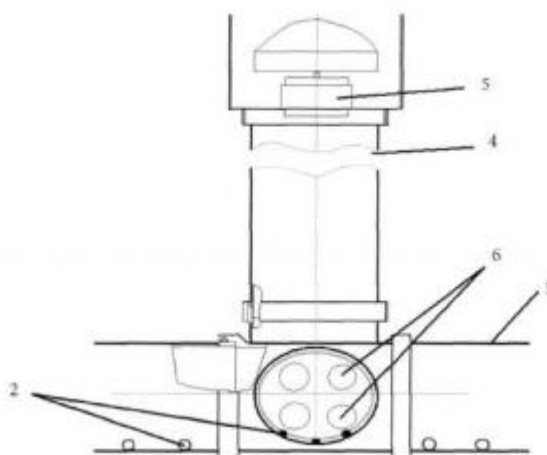


Рисунок 1.19 Виштовхуючий вихід повітропроводу

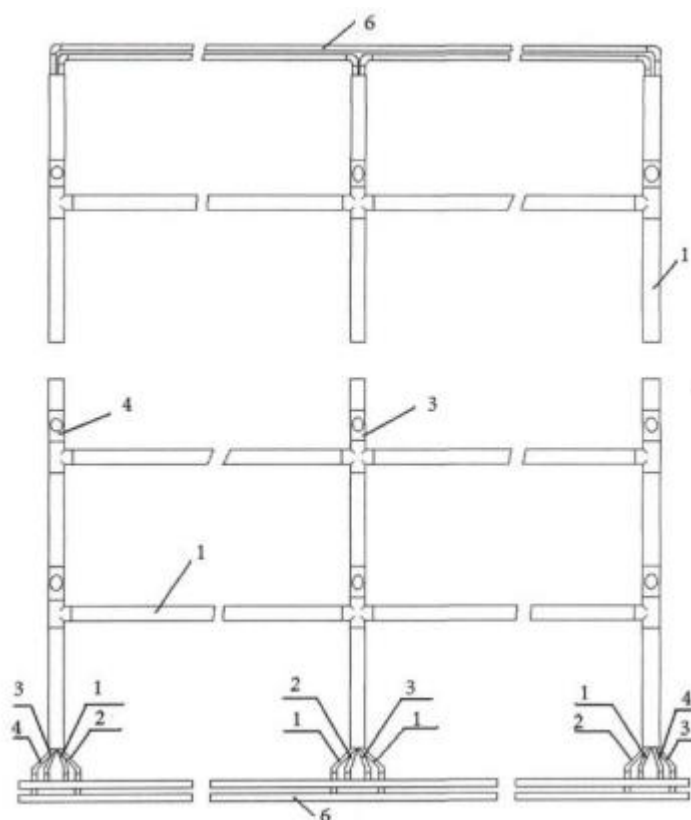


Рисунок 1.20 Схема ліній повітропровода

Даний пристрій в теплиці створює і підтримує оптимальний мікроклімат для рослинного росту. Він складається з повітропроводів, що містять дренажні отвори, розширювані виходи, вентилятори, та труб, які підключені до джерела нагріваючої і охолоджуючої води. В залежності від потреб культури в теплиці, система повітропроводів може мати різну кількість повітропроводів та труб. У холодну пору року, гаряча вода подається по трубах для нагрівання повітря в повітропроводах. Нагріте повітря потім подається в теплицю за допомогою вентиляторів. У спекотну погоду, холодна вода подається по трубах для охолодження повітря в повітропроводах. Пристрій підтримує оптимальну температуру, вологість і створює оптимальний мікроклімат в теплиці, активуючи процеси біологічного зростання рослин. Управління пристроєм може бути здійснене автоматично або вручну.

Патент №2122315 Автоматизована теплиця

Класи МПК:	A01G9/24 пристрої для опалення, вентиляції, регулювання температури і зрошення теплиць, парників і тд A01G9/26 електричні пристрої A01G31/02 спеціальні пристрої для цієї мети A01G31/06 на стелажах або в штабелювати контейнерах
Автор(и):	Липов Ю.Н., Шпилько А.В., Галкин М.А., Сысоев Е.С.
Патентовласники(и):	Липов Юрий Нойевич
Пріоритети:	подача заявки: 1995-12-06 публікація патенту: 27.11.1998

Автоматизована теплиця, яка містить принаймні один тепличний блок, резервуар для відстоювання води з патрубком підключення до водопроводу за допомогою основного насоса, з'єднаний з трубопроводом подачі води, який пов'язаний з системою палива, блок управління, перший, другий і третій виходи якого пов'язані з першим і другим керованими вентилями, встановленими відповідно на патрубку підключення до водопроводу, трубопроводу подачі води і входом управління основного насоса, що відрізняється тим, що вона забезпечена гідропонним багатоярусним модулем, що включає насос подачі живильного розчину, повідомлений з резервуаром з живильним розчином і за допомогою відповідного трубопроводу принаймні з одної зони, а також третім керованим вентилем і керованим гідроперемикач, які встановлені на першому і другому відводах основного трубопроводу, розташованими відповідно після основного насоса і перед другим керованим вентилем, при цьому перший повідомлений з резервуаром з живильним розчином, а другий - з одним з виходів гідроперемикач,

інший вихід якого повідомлений з трубопроводом зон росту, а вихід - з виходом насоса подачі живильного розчину, причому, четвертий і п'ятий виходи блоку управління з'єднані з відповідними входами керованого гідроперемикача і насоса подачі живильного розчину, а резервуар з живильним розчином забезпечений датчиками рівня, підключеними до відповідних входів третього керованого вентиля.

Патент № 122826 Регульована світлодіодна система та спосіб досвічування рослин у теплицях

Класи МПК:	A01G7/04 Електрична, магнітна або акустична обробка рослин для стимулювання росту A01G7/045 з електричним освітленням
Автор(и):	Свістунов Олексій Сергійович
Патентовласники(и):	Свістунов Олексій Сергійович
Пріоритети:	подача заявки: 27.12.2018 публікація патенту: 06.01.2021

1. Регульована світлодіодна система для додаткового освітлення рослин у теплицях, включаючи світильники, кожен виконаний у вигляді корпусу із вбудованими джерелами світла, та персональний комп'ютер для управління лампами, який відрізняється тим, що додатково включає блок управління, який працює з мікропроцесором для обробки даних, оснащений, програмується та підключений до: інтерфейсу для прийому / відправлення команд, модуля пам'яті, модуля часу, модуля ПЛК для прийому / передачі сигналів від / до кожного з ліхтарів за допомогою джерела живлення мережі та модуль датчика, тоді як інтерфейс прийому / відправлення команд здатний встановити з'єднання та обмін даними з персональним комп'ютером через мережу, а також принаймні один датчик інтенсивності та принаймні один датчик спектральної композиції, який встановлюються в кожній з мереж зростання будинків і підключений до модуля датчика блоку управління, кожне джерело світла світильника складається з квазімонохроматичних світлодіодів типу Z , де z - кількість типу b в квазімонохроматичних світлодіодах, діапазон випромінювання який знаходиться в

діапазоні від 300 до 800 нм (рис. 1.21), а формований пакет світлодіодів встановлюється на підкладці, обладнаній окремим каналом для кожного світлодіода упаковки і покритою дифузором. Кожне з ліхтарів оснащено силовим кабелем та електронною платою управління, містить перетворювач змінного / постійного струму, модем PLC для прийому / передачі сигналів до блоку управління через мережу живлення, цифровий аналоговий перетворювач, програмований мікроконтролер та драйвери, кожен з яких підключений до каналу відповідного світлодіода, є цією лампою.

2. Система по п.1, що відрізняється тим, що блок управління додатково оснащений дисплеєм і засобами введення даних, які призначені програмованому мікропроцесору блоку управління.

3. Система по п.1, що відрізняється тим, що кожна з ламп оснащена оптичною лінзою.

4. Система по п.1, що відрізняється тим, що корпус лампи забезпечений отворами для підвіски та підвісними засобами, які пропонують можливість регулювання висоти підвісу лампи щодо рослин, вирощених у теплиці.

5. Спосіб додаткового освітлення рослин у теплицях, що включає відтворення сценарію додаткового освітлення рослин у теплицях при певній потужності випромінювання шляхом генерації та подачі сигналів керуючого струму до ламп світлодіодної системи для додаткового освітлення рослин у теплицях, відрізняється в тому, що при відтворенні сценарію додаткове освітлення рослин у теплицях заздалегідь зберігається в персональному комп'ютері. Налаштування роботи світильників включають: набори даних для конфігурації ламп, набори даних для значень сигналів керуючого струму для кожного світлодіода та алгоритми послідовностей подачі керуючих сигналів струму записані в модуль пам'яті блоку управління, налаштування роботи ламп записуються за допомогою персонального комп'ютера з вибраних, записаних в модулі пам'яті блоку управління, а лампи вводяться в дію в режимі реального часу відповідно до обраного сценарію додаткове освітлення рослин у теплицях шляхом передачі відповідних сигналів керуючого струму від блоку у управління через

модем ПЛС та блок управління на електронну плату управління кожним з ліхтарів через мережу електроживлення та відповідний кабель живлення за допомогою модему ПЛС відповідної електронної плати управління, а також сигнали управління потужністю, що передаються від контролера на блок d Індикатори - це сигнали, значення яких зчитуються процесором обробки даних блоку управління зі значень позначених контрольних сигналів, які записуються в пам'ять блоку управління і коригуються для обробки мікропроцесором. управління блоком управління з урахуванням даних про інтенсивність випромінювання та спектральний склад від наявного природного та штучного випромінювання у відповідних теплицях, які процесор даних отримав від відповідних датчиків для інтенсивності випромінювання та спектрального складу, поточних сигналів, які оброблена з цифрової форми програмованим мікроконтролером електронної контрольної карти відповідного світильника перетворюються в аналогові сигнали і подаються на відповідні світлодіоди світильника за допомогою відповідного драйвера на електронній платі управління та відповідного каналу для кожного світлодіода на світильнику.



Рисунок 1.21 Світильник на фіто-світлодіодах

6. Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що сценарій освітлення рослин обчислюється на підставі результатів досліджень спектрів поглинання на кожному етапі росту рослин для відповідних видів рослин.

7. Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що сценарій фонового освітлення обробляється додатково шляхом зміни заданої потужності випромінювання та налаштувань ламп через інтерфейс, підключений до блоку управління персонального комп'ютера.

8. Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що додатково контролює роботу ламп через дисплей і клавіатуру, які підключені до блоку управління персонального комп'ютера, та / або через дисплей і клавіатуру блоку управління.

1.4 Завдання на проектування

Відповідно до завдання за темою магістерської роботи, визначено головні задачі на проектування:

Розробити систему керування, що включає керування такими параметрами, як вологість повітря, полив, температура повітря, вміст вуглекислого газу та освітлення. Використовувати якісні датчики для збору інформації про мікроклімат у теплиці, забезпечуючи точність та надійність вимірювань. Система має живитися від мережі 220В, та мати необхідне резервне живлення для безперебійного функціонування системи та підтримання заданого мікроклімату.

Потрібно реалізувати систему під керуванням одного контролера із зручним інтерфейсом блоку виведення, що забезпечить максимальну інформативність оператору, дасть можливість віддаленого керування системою через інтерфейс, дозволить налаштовувати параметри мікроклімату з єдиного місця, та дозволить координувати роботи всіх компонентів системи. Також необхідно забезпечити модульність компонентів системи, що дозволить швидко та легко замінити та розширювати окремі модулі в разі необхідності.

Розробити та використовувати оптимальний алгоритм керування мікрокліматом, що забезпечує стабільність та оптимальні умови для росту рослин.

Забезпечити ефективну витрату енергії, оптимізуючи споживання електроенергії системою керування.

Забезпечити безпеку та надійність роботи системи шляхом впровадження відповідних заходів захисту та аварійного відновлення.

Провести випробування та налаштування системи, забезпечуючи її коректну роботу та відповідність встановленим критеріям.

Здійснити техніко-економічний аналіз системи керування мікрокліматом, оцінити вартість впровадження та експлуатації системи, а також розрахувати очікувану економічну вигоду.

Документувати процес проектування та результати дослідження, підготувати звіт про магістерську роботу.

Ці критерії враховують необхідність створення комплексної системи керування мікрокліматом в теплиці, що включає різноманітні параметри та вимагає використання якісних компонентів та оптимальних алгоритмів.

Висновки до першого розділу

1. Досліджена основна інформація, що до актуальності вирішення проблем вирощування рослин в спорудах захищеного ґрунту.
2. Проаналізовано технічні рішення автоматизованих систем керування мікрокліматом теплиць, що пропонує ринок, розібрані їх недоліки та переваги.
3. Розглянуто різні види датчиків кожного типу, їх чутливі елементи та принципи їх роботи.
4. Сформовано завдання на проектування системи керування мікрокліматом в об'єктах захищеного ґрунту.

2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

2.1 Розробка функціональної схеми системи керування відповідно до технічного завдання

На практиці виявлено, що ринкові пристрої, як правило, вирішують лише окремі проблеми і не забезпечують взаємодію між собою для створення необхідного мікроклімату в закритих спорудах. В зв'язку з цим вирішено розробити комплексне рішення, яке буде керуватися одним мікроконтролером, з метою синхронізації цих пристроїв.

На основі аналізу наявних пристроїв на ринку розроблена система "розумної" теплиці, яка об'єднує в собі рішення основних проблем та дрібниць, пов'язаних з створенням внутрішнього мікроклімату. Запропонована система дозволяє вирішувати такі завдання, як показано на рис. 2.1, а саме:

- Здійснювати вимірювання температури повітря та води.
- Виконувати вимірювання вологості повітря та ґрунту.
- Міряти концентрацію CO₂ в повітрі.
- Визначати день та ніч на основі освітленості.
- Забезпечувати обігрів теплиці.
- Здійснювати вентиляцію для зниження рівня CO₂ і/або температури.
- Здійснювати полив водою з заданою температурою.

Усі датчики, сенсори та виконавчі механізми в системі керуються мікроконтролером через реле. В розробленій системі також присутнє автономне резервне живлення, яке активується у випадку аварійного відключення основної електромережі. Це важливий аспект для забезпечення надійності сільської інфраструктури.



Рисунок 2.1 - Структурна схема системи керування мікрокліматом

Відповідно до поставленого завдання проектування та враховуючи вимоги до створення подібних систем, складена функціональна схема (рис. 2.2), яка включає наступні блоки:

- Блок живлення (БЖ) - пристрій, що перетворює змінну напругу 220 В зі стандартної мережі на стабілізовану постійну напругу 5 В та 12 В, включаючи функцію джерела безперебійного живлення (ДБЖ) для забезпечення роботи системи.
- Акумулятор - акумуляторна батарея ємністю 12 В 7 А/год, що використовується з урахуванням нестабільного електропостачання сільської інфраструктури.
- Мікроконтролер (МК) - основний блок обробки даних, який отримує сигнали від датчиків та керує виконавчими блоками відповідно до програми, вбудованої в нього.
- Драйвер - компонент, необхідний для керування електромоторами шляхом перетворення слабких сигналів на достатні для живлення електромоторів струми.

- Реле - комутаційний блок, що відкриває або з'єднує електричні кола, вмикаючи або вимикаючи виконавчі блоки в залежності від керуючого сигналу.
- Силове реле - блок, який комутує високопотужні елементи системи з використанням проміжних реле (у даній системі).
- Блок введення інформації - компонент, який дозволяє ручно задавати параметри при налаштуванні програми системи (у даній системі - енкодер).
- Блок виведення інформації - компонент, що надає візуальний контроль над процесами, параметрами та станами датчиків та інших елементів системи (у даній системі - дисплей).
- Датчик вологості повітря - чутливий елемент, який виявляє вологу в повітрі та перетворює її значення на електричний сигнал.
- Датчик температури повітря - пристрій для вимірювання температури повітря.
- Датчик температури води - герметичний пристрій для вимірювання температури води.
- Датчик вологості ґрунту - ємнісний вологочутливий елемент, який не піддається корозії.
- Датчик CO₂ - блок, що вимірює рівень вуглекислого газу в повітрі та передає електричний сигнал на мікроконтролер.
- Насос - пристрій, що забезпечує полив рослин.
- Лінійний привід - електромеханічний блок, використовуваний для відкривання люків або вікон теплиці.
- Теплоventилятор - електромеханічний елемент системи, який створює потік теплого повітря.
- Водонагрівач - електричний пристрій для підігріву води у резервуарі.
- Освітлення - електричні світильники, що використовуються для освітлення теплиці.

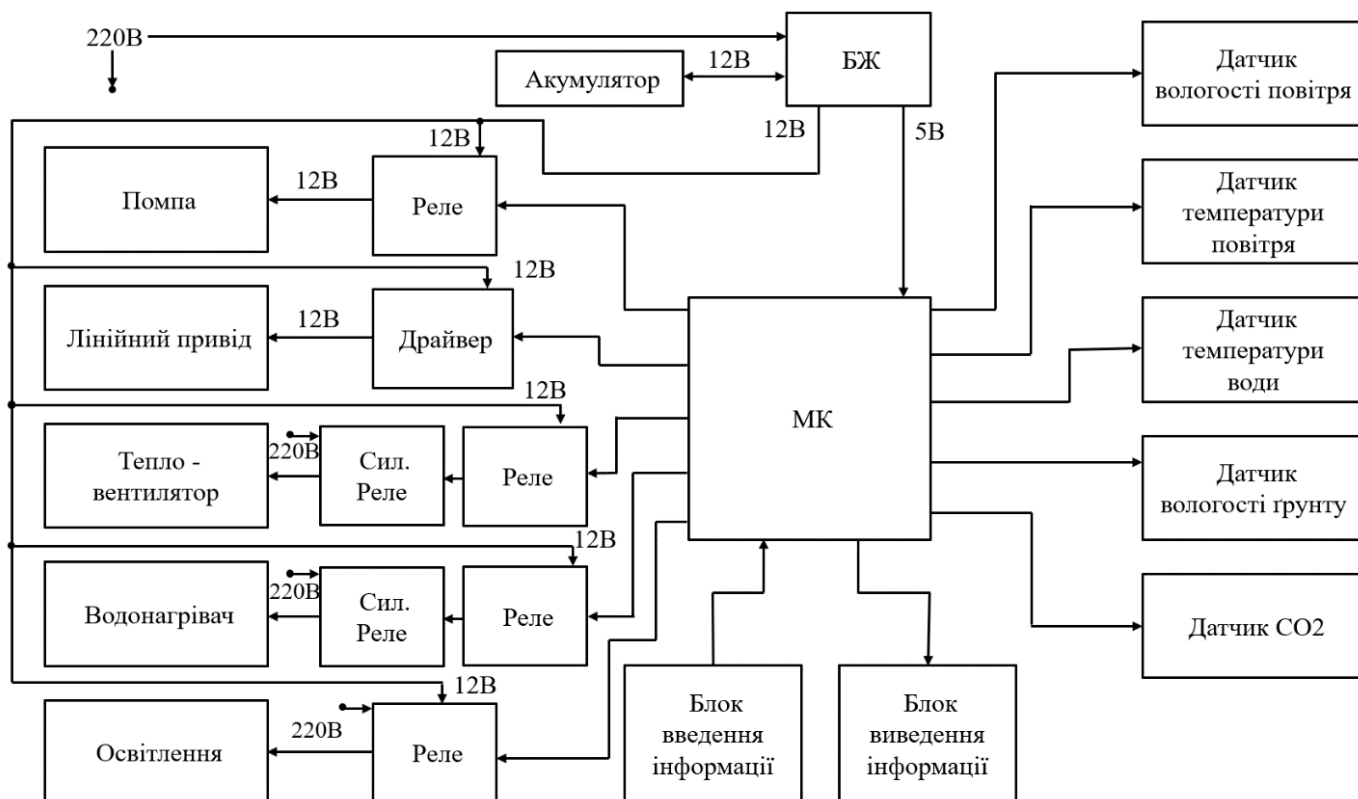


Рисунок 2.2 Функціональна схема системи керування мікрокліматом

2.2 Опис компонентів апаратної частини функціональної схеми

Мікроконтролер

Апаратне забезпечення системи включає в себе мікроконтролер. Для цього проекту обрано платформу Arduino Nano V3 (рис. 2.3), яка базується на мікроконтролері ATmega328P. Ця модель повністю відповідає всім поставленим завданням та вимогам. Основними її перевагами є низька вартість, наявність потрібної кількості портів для керування усіма виконавчими пристроями системи і легкість налаштування [11].

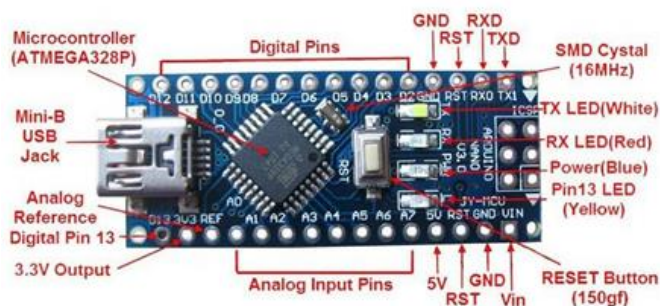


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд Arduino Nano V3 [11]

Живлення плати можна забезпечити двома способами, через підключення до комп'ютера за допомогою mini-USB, або використовуючи зовнішнє джерело живлення з напругою від 5 до 20 В, з низьким рівнем пульсацій.

В обраній моделі платформи мікроконтролера, зовнішнє джерело живлення стабілізується за допомогою схеми LM1117IMPX-5.0, що забезпечує напругу 5 В. Але при підключенні через кабель від комп'ютера, підключення до стабілізатора відбувається за допомогою діода Шотткі.

Технічні характеристики Arduino Nano V3:

Живлення В	5
Кількість цифрових пінів	14
Кількість цифрових пінів ШІМ	6
Кількість аналогових пінів	8
Максимальний струм цифрового виходу мА	40
Кількість Flash пам'яті Кб	32
Кількість EEPROM пам'яті Кб	1
Кількість ОЗУ Кб	2
Частота МГц	16
Розміри мм	19x42
Вага гр	7

На платі Arduino Nano доступні кілька пристроїв для з'єднання з комп'ютерами, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. Мікропроцесори ATmega168 і ATmega328 підтримують послідовний інтерфейс TTL UART 5V, використовуючи виводи RX та TX. Для підключення до комп'ютера за допомогою USB використовується мікросхема FTDI FT232RL-IC, а в програмі Arduino вбудовані драйвери FTDI, які дозволяють створити віртуальний COM-порт на комп'ютері. Послідовна шина програми Arduino дозволяє передавати та отримувати дані у текстовому форматі. Світлодіоди RX і TX на платі світлитимуться під час передачі даних через чіп FTDI або по USB-з'єднанню. Крім того,

в широкому температурному діапазоні від 0 °С до +50 °С з мінімальними похибками.

При використанні датчика CO2 MH-Z19B важливо враховувати його певну інерцію в показаннях. Якщо концентрація вуглекислого газу змінюється, датчику знадобиться приблизно одна хвилина, щоб відобразити правильні значення. Крім того, слід зазначити, що після включення датчика потрібно приблизно три хвилини для його попередньої підготовки до роботи. Протягом цього періоду показники концентрації CO2 не можна вважати достовірними, оскільки вони значно відрізняються від реальних значень.

Характеристики:

Живлення В	4.4 - 5.5
Струм навантаження мА	60
Вихідні сигнали	UART\PWM
Діапазон вимірювань ppm	0 - 5000
Діапазон робочих температур ° С	від 0 до +50
Розміри мм	33x20x9

Датчик температури та вологи повітря

Для вимірювання температури, вологості та тиску повітря в системі використовується комбінований мікродатчик BME280, що є останньою розробкою компанії Bosch (рис. 2.5) [13].



Рисунок 2.5 - Мікродатчик температури, вологості і тиску BME280 [13]

Датчик BME280, розроблений компанією Bosch, є комбінованим мікродатчиком, який забезпечує вимірювання температури, вологості та тиску повітря з високою точністю та надійністю. Цей датчик є результатом передових технологій і досліджень у галузі сенсорної електроніки.

Вимірювання температури здійснюється за допомогою вбудованого терморезистора з високою стабільністю і точністю. Вологість повітря визначається шляхом вимірювання зміни електричного опору вологопоглинувального матеріалу. Для вимірювання атмосферного тиску використовується принцип п'єзорезистивної технології, де зміна електричного опору п'єзорезистора залежить від внутрішнього тиску.

Основними характеристиками датчика BME280 є його висока точність вимірювань. Температура вимірюється з точністю до $\pm 1^\circ\text{C}$, вологість - до $\pm 3\%$, а атмосферний тиск - до ± 1 hPa. Широкий робочий діапазон датчика включає температуру від -40°C до $+85^\circ\text{C}$, вологість від 0% до 100% та тиск від 300 hPa до 1100 hPa. Для забезпечення зручної інтеграції, датчик BME280 підтримує інтерфейси зв'язку I2C та SPI, що дозволяє його легко інтегрувати з різними мікроконтролерами та мікропроцесорами. Крім того, датчик має вбудований апаратний фільтр, який знижує вплив зовнішніх шумів на точність вимірювань.

Завдяки своїм передовим характеристикам та надійності, датчик BME280 заслуговує на широке застосування у вимірювальних системах, дослідженнях повітряного середовища та інженерних проектах, де вимагається висока точність та стабільність вимірювань параметрів повітря.

Характеристика:

В DD діапазон основної напруги живлення В	1,71 – 3,6
В DDIO діапазон інтерфейсу напруги живлення В	1,2 – 3,6
Струм при вологості і температурі мА	1,8
Струм при тиску і температурі мА	2,8
Струм при вологості, тиску і температурі мА	3,6
Струм в сплячому режимі мА	0,1

Робочий діапазон температур °C	від -40 до +85
Діапазон вологості %	0 - 100
Діапазон тиску Па	300 - 1100
Розміри мм	2,5x2,5x0,93
Вага гр	10
Цифровий інтерфейс I ² C \ SPI МГц	до 3,4\ до 10
Гістерезис с	1

Датчик вологості ґрунту

Ємнісний датчик (рис. 2.6) вологості ґрунту є пристроєм, розробленим спеціально для точного та надійного вимірювання рівня вологості в ґрунті. Цей датчик використовує принцип зміни електричної ємності при зміні вологості ґрунту, що дозволяє отримувати цінні дані про вологість розглядуваної ділянки.

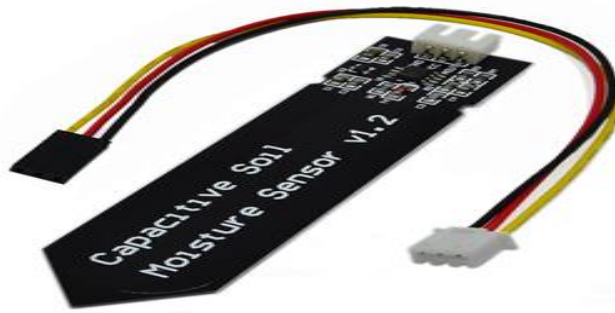


Рисунок 2.6 - Ємнісний датчик вологості ґрунту [14]

Основою датчика є конденсаторна структура, де ґрунт виступає у ролі діелектрика. Зміна вологості ґрунту призводить до зміни ємності конденсатора. Чим більше води міститься у ґрунті, тим більша є ємність датчика. Це зв'язано з тим, що вода є хорошим провідником електричного струму, тому вологий ґрунт здатний збільшувати ємність датчика. Одною з ключових переваг ємнісного датчика вологості ґрунту є його спроможність пристосовуватись до різних типів ґрунту. Він забезпечує стабільні та точні вимірювання вологості незалежно від характеристик ґрунту, таких як текстура, склад, структура тощо. Це дозволяє широко застосовувати датчик у різних сільськогосподарських, садово-городніх та ландшафтних додатках. [14].

Спосіб вимірювань вологості	Ємнісний
Тип сигналу	Аналоговий
Напруга живлення В	3,3 - 5,5
Вихідна напруга В	0 - 3
Розміри мм	100x17 мм

Датчик температури DALLAS DS18B20

Датчик температури DS18B20 (2.7) є цифровим термодатчиком, який забезпечує точне та надійне вимірювання температури в різних промислових і побутових застосуваннях. Він має компактний інтегрований дизайн, що спрощує його встановлення та використання.

Цей датчик працює на основі принципу зміни опору залежно від температури. У ньому використовується спеціальний матеріал з термозалежною опорю, що забезпечує високу точність вимірювання. Датчик має вбудований 64-бітний унікальний ідентифікатор, що дозволяє легко ідентифікувати його в мережі з декількома датчиками.

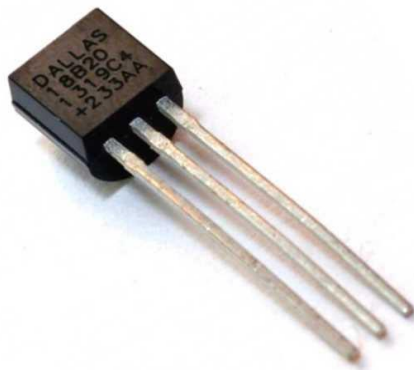


Рисунок 2.7 - Датчик температур DS18B20 [15]

Взаємодія з датчиком здійснюється за допомогою протоколу 1-Wire, який дозволяє підключати декілька датчиків до одного вхідного піна мікроконтролера або іншого пристрою. Це робить його зручним для систем, що вимагають багатоканального збору даних про температуру.

Датчик DS18B20 має високу роздільну здатність, здатність до вимірювання температурного діапазону від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що забезпечує широкий спектр

застосувань. Він має низьку власну споживану потужність, що дозволяє використовувати його в пристроях з обмеженим живленням. [15]

Датчик DS18B20 забезпечує цифровий вихідний сигнал, який передає температурні дані у вигляді цифрового коду. Це спрощує обробку і збереження даних, а також дозволяє легко інтегрувати його з різними мікроконтролерами, мікропроцесорами та іншими електронними пристроями.

Датчик освітленості

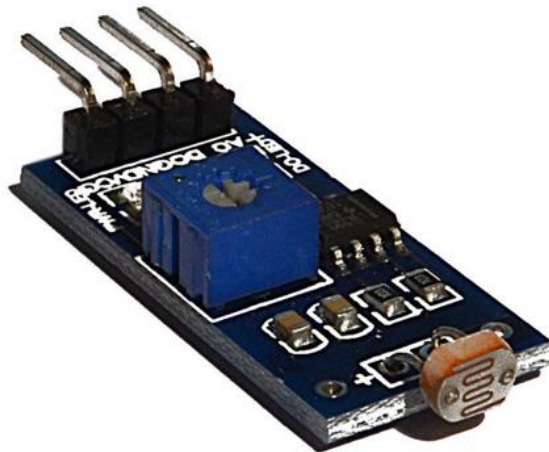


Рисунок 2.8 Датчик освітленості[16]

Датчик освітленості, використовуючи фоторезистор як напівпровідниковий компонент, змінює свій опір залежно від рівня освітленості, на яку впливає його поверхня. Існує різноманітні конструкції цих датчиків, але найбільш поширеною є та, що зображена на (рис. 2.8.) Зміна опору під впливом світла відома як "ефект фоторезисту".

Один з типів датчиків освітленості є світловим вимикачем, який автоматично керує штучним освітленням. Залежно від рівня освітленості в навколишньому середовищі, датчик може вмикати або вимикати лампи, прожектори, ліхтарі та інші освітлювальні пристрої. Якщо датчик правильно встановлений і налагоджений, він може працювати без необхідності втручання людини. Іншими словами, датчик освітленості є своєрідним вимикачем, який контролює яскравість освітлення в певній зоні або приміщенні. Під час настання сутінків, він вмикає світло, а після сходу сонця - вимикає його. Використання такого обладнання дозволяє знижувати споживання електроенергії на 10-15%. [16].

Модуль реального часу



Рисунок 2.9 - Модуль реального часу DS3231 [17]

Модуль DS3231 є годинником з функцією реального часу, який відзначається високою точністю завдяки вбудованому кварцовому резонатору та можливості температурної компенсації (рис. 2.9) [17].

У цій мікросхемі також присутня резервна батарея, яка виконує роль іоністора. У випадку відключення основного живлення, мікросхема автоматично переходить на резервне живлення від іоністора, забезпечуючи точний хід годинника навіть під час переходу на резервне живлення.

Модуль DS3231 вміє відстежувати секунди, хвилини, години, дні місяця (дати), дні тижня, місяці і роки (включаючи високосні роки). Він підтримує роботу в 12- і 24-годинному форматах та має два виходи: перший на 32.768 кГц і другий програмований вихід з діапазоном від 1 Гц до 8.192 кГц.

Крім того, модуль оснащений двома тригерними будильниками, які можуть бути налаштовані, а також відстежувати їх стан. Також в модулі є можливість регулювання точності температурних компенсацій.

Характеристики модулю реального часу DS3231:

Напруга живлення В	5
Інтерфейс управління	I2C
Енергом пам'ять чіп	24C32
Обсяг пам'яті енергом кбіт	32
Елемент живлення	LIR2032
Розміри мм	28 x 30 x 10

Енкодер

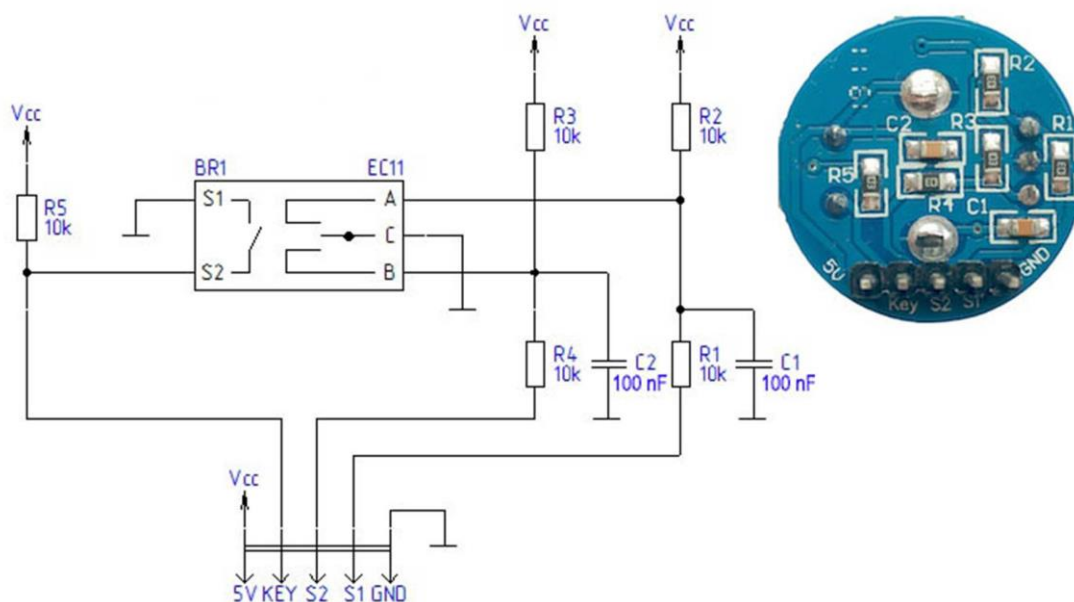


Рисунок 2.10 - Схема енкодеру [18]

У системі для введення необхідних даних та налаштувань використовується енкодер, як показано на рис. 2.10. Енкодер є пристроєм, який перетворює кутові положення або лінійні переміщення в цифровий сигнал. Залежно від типу руху, існують крутильні та лінійні енкодери [18]. Принцип роботи енкодера полягає у перетворенні механічного переміщення на електричні сигнали. У звичайному інкрементальному енкодері цей сигнал складається з двох квадратних хвильових форм (при рівномірному обертанні), які зсуваються по фазі на 90 градусів.

Дисплей

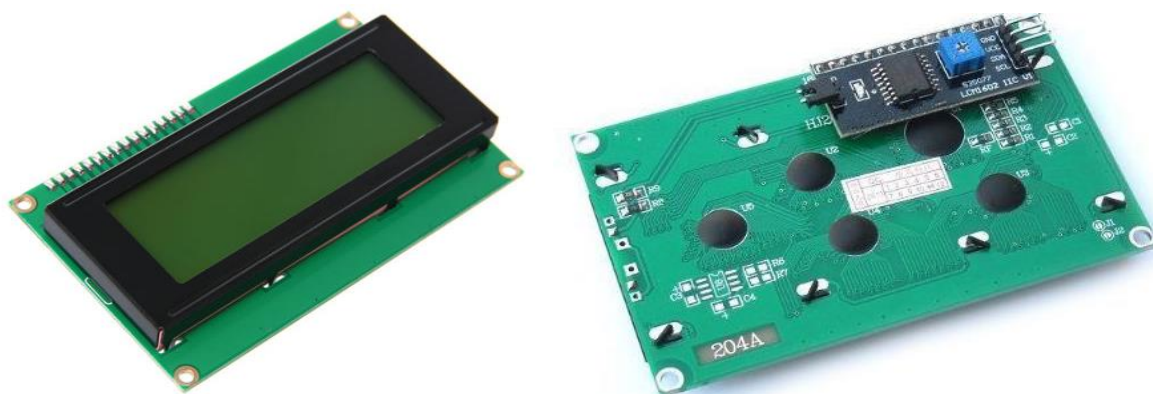


Рисунок 2.11 - Дисплей LCD2004 [19]

Дисплей LCD2004 [19] має 20-символьний екран, який складається з 4 рядків і може бути керований за допомогою шини I2C (TWI, IIC) за допомогою I2C

кількість символів в рядку	20
кількість рядків	4
Розміри мм	Див. рис.2.12
Чіп модуля І2С	PCF8574А

Реле

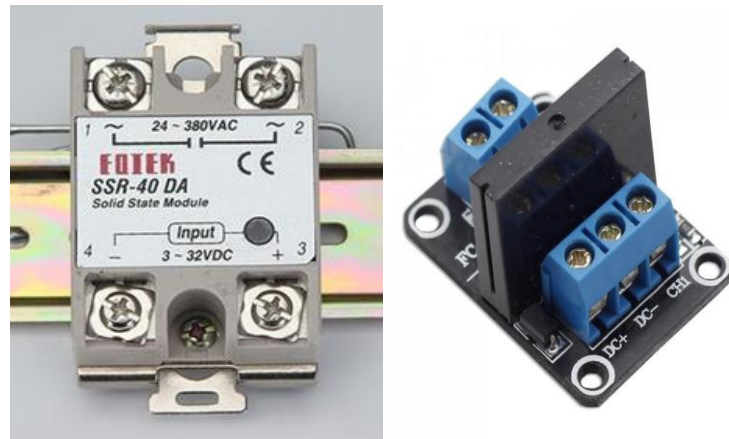


Рисунок 2.13 - Твердотільні реле: а – силове; б – слабо-струмне [20]

Реле - це електромеханічний пристрій, який використовується для керування електричними схемами шляхом перемикання контактів під дією електричного струму. Основна конструкція реле включає в себе котушку, контакти та механізм перемикання. Під час проходження струму через котушку, утворюється магнітне поле, яке приводить до притягування або відштовхування перемикача контактів.

В системі служить для комутації ланцюга живлення від 2А до 40А, за допомогою низьких напруг (5-12V), що подаються на клеми керування [20] (рис.2.13). Використовано 2 типи реле, на 2А та 40А, які реалізовані дворівневою схемою керування мало - та високопотужних електроспоживачів.

Драйвер двигуна

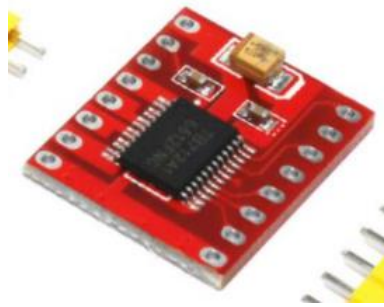


Рисунок 2.14 - Двоканальний драйвер TB6612FNG [21]

Модуль керування TB6612FNG включає всі необхідні компоненти для ефективного керування колекторними двигунами, усунувши потребу в додаткових елементах [21].

Цей драйвер дозволяє використовувати різні режими роботи двигуна, включаючи вперед, назад, повільне гальмування і повну зупинку. Швидкість кожного двигуна регулюється за допомогою методу ШИМ-управління з максимальною частотою 100 кГц. Крім того, модуль має режим очікування, при якому вхідний сигнал STBY знаходиться в низькому стані. Драйвер ідеально підходить для сумісності з контролерами Arduino 5 В, а також з контролерами 3,3 В і міні-комп'ютерами. Конструктивно модуль відрізняється тим, що вхідні контакти розташовані з одного боку, а вихідні - з іншого боку.

Характеристики:

Мікрочіп драйверу	TB6612FNG
Робоча напруга живлення двигунів В	13,5
Мінімальна напруга живлення двигунів В	2,5
Максимальна напруга живлення двигунів В	15
Максимальний струм двигунів А	3,2
Максимальна частота управління кГц	100
Робочий діапазон температур °С	від -40 до +85
Робоча напруга логічної частини В	2,7 - 5,5
Розміри плати мм	22x19x4

2.3 Розробка програмної частини системи керування

Для безперервної роботи системи необхідна належна програма, яка буде визначати алгоритм управління теплицею. Пропонована система має здатність працювати у різних режимах, принаймні двох: режимі, основанийому на вимірюваннях датчиків, або режимі, що враховує розклад, встановлений користувачем (рис. 2.15).

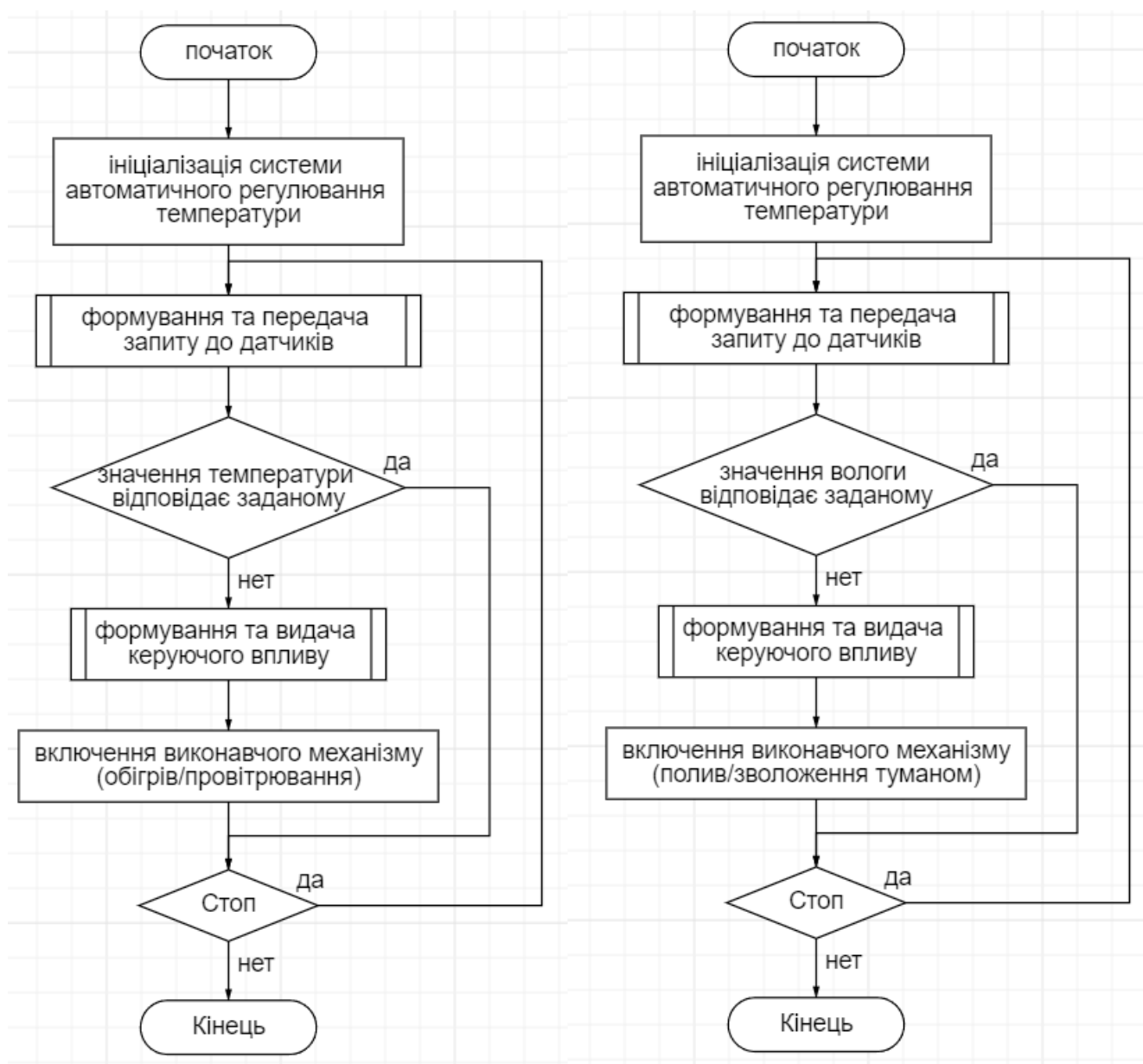


Рисунок 2.15 – Блок-схеми алгоритму програми по регулюванню температури і вологості

Режими роботи каналів:

Таймер - режим в якому задаються періоди пауз і часу роботи в форматі години: хвилини: секунди. Після закінчення періоду пауза, виконується запланована робота протягом заданого часу. Приклад використання режиму таймер – Паузу ставимо на 1 годину, роботу на 10 секунд, кожен годину буде виконуватися робота протягом 10 секунд, якщо обрали канал реле, то воно ввімкнеться на 10 секунд, після чого вимкнеться, через годину попередні дії повторяться і так далі. Як канал буде поводитись при роботі можна задати в налаштуваннях, тобто це буде або реле з параметрами ввімкнути \ вимкнути(та інвертоване), або лінійний привід зі станами відкрити / закрити (та інвертоване). Цей режим не прив'язано до реального часу, якщо перезавантажити систему поточний таймер буде анульовано. Час роботи не повинен перевищувати час паузи.

Датчик – режим виконання роботи на основі параметрів з датчиків. Спочатку відбувається опитування датчиків, потім перевірка з заданими параметрами, якщо ж параметр перевищує задане значення, буде виконуватися дія згідно з обраним каналом (реле або привід). Параметр періоду опитування можна задавати в секундах або хвилинах. Вибрати датчик можна зі списку: вологість повітря, температура повітря, температура води, вологість ґрунту, рівень CO₂. Пороговий параметр задається від 0 до 1024 з кроком 1 до значення 50 і з кроком 10 починаючи від 50. Наприклад, обрано датчик температури води, виставлено період в півгодини і граничне значення 50. Кожні півгодини перевіряється температура, якщо значення менше 10 градусів буде виконана відповідна каналу дія включити реле – підігрівати воду. Через півгодини датчики будуть знов опитані.

Налаштування каналів реле:

- Реле – цей канал працює як звичайне реле, тобто використовується для керування будь-якими навантаженнями постійного або змінного струмів: полив насосом \ помпою, керування обігрівачем, вентилятором, приладами освітлення та іншим.

- Клапан – спеціальний канал для систем, де використовується помпа або клапан від джерела води і декілька самостійних клапанів на поливі різних ділянок. Цей канал, налаштовано як клапан, одночасно при активації по таймеру або датчику, активується інший канал, який налаштовано як загальний.
- Загальний - тип каналу реле для системи, із загальною помпою або клапаном з джерелом води і деякою кількістю індивідуальних клапанів на полив окремих ділянок. Канал налаштовано як загальний, він не має власних налаштувань режимів. Але, він активується одночасно сам із будь-яким іншим реле \ каналом, налаштованим як клапан. Автоматично деактивується при відсутності роботи каналів клапанів.

Структура меню:

Service (Сервіс)

Debug (Екран налагодження)

Channel 0 - Channel 6 (Канали реле 0-6)

Mode (Режим) - клік для переходу в настройки режиму

Direction (Напрямок роботи)

- On-Off
- Off-On

Type (Тип каналу реле)

- Relay (Реле)
- Valve (Клапан)
- Common (Загальний)

Drive (Канал приводу)

Mode (Режим) - клік для переходу в настройки режиму

Direction (Напрямок роботи)

- Open-Close

- Close-Open

Timeout (Час руху)

Налаштування режиму

1. Timer (Простий періодичний таймер)
 - Period (Час паузи, воно ж період роботи)
 - Work (Час роботи)
 - Left (Залишилося до наступного включення)
2. Timer RTC (періодичний таймер з прив'язкою до часу)
 - Period (Період роботи)
 - Work (Час роботи)
 - Start from (Час, починаючи з якого вважається період)
3. Day (Добовий таймер)
 - Start (Час початку роботи)
 - Stop (Час закінчення роботи)
4. Sensor (Датчик)
 - Period (Період опитування)
 - Sensor (Вибір датчика)
 - Threshold (Поріг)

Дерево станів навігації по меню режимів представлено на рис. 2.16.

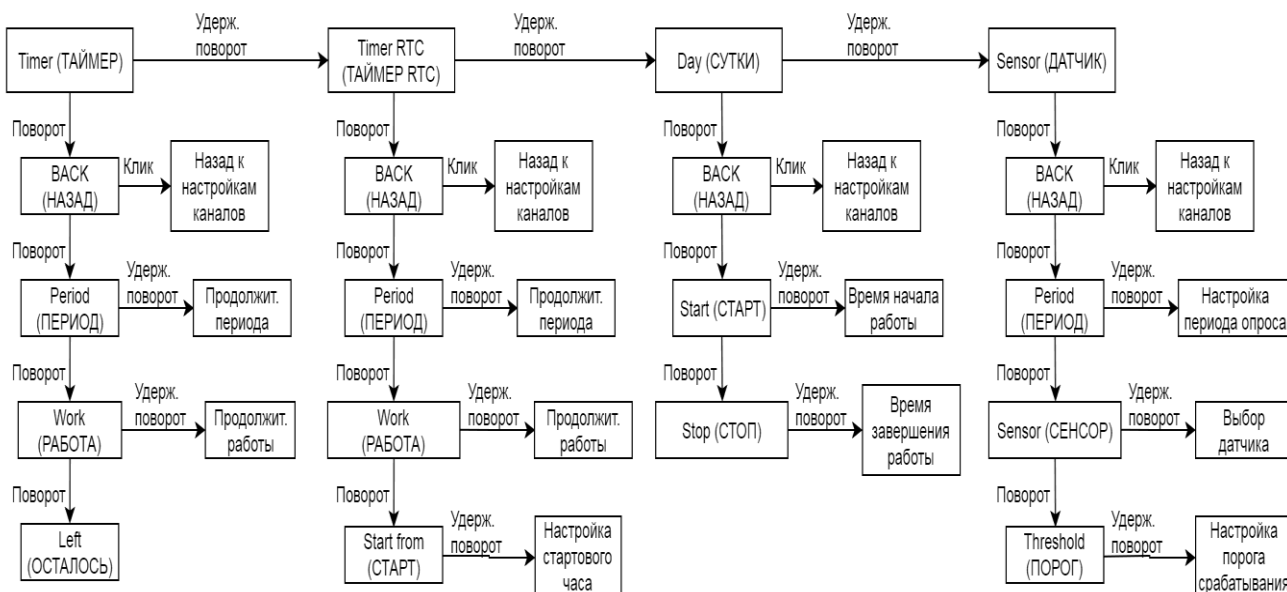


Рисунок 2.16 - Дерево станів навігації по меню режимів

Висновки до другого розділу

Зроблено детальний опис системи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Загальний опис системи надає уявлення про її функціональність та основні принципи роботи.

У розділі проведено опис апаратного забезпечення системи. Наведені характеристики та опис використаних компонентів, таких як датчики вимірювання різних параметрів (CO₂, вологість, температура повітря та води, освітленість), модулі керування приводами та реле, а також модуль реального часу для виміру часу.

Також детально описано програмне забезпечення системи. Розроблено функціональну схему системи, яка включає блоки керування, вимірювання та зв'язку. Наведено блок-схему алгоритму роботи програми, який описує послідовність операцій, що відбуваються в системі. Показана схема дерева станів, яка відображає різні стани системи та можливі переходи між ними. Цей розділ становить основу для подальшого розгляду роботи системи та її ефективності.

3. РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

3.1 Розробка електричної принципової схеми системи керування мікрокліматом

Відповідно до функціональної схеми та підібраних компонентів апаратної частини, створено електричну принципову схему системи представлена на рис.3.1

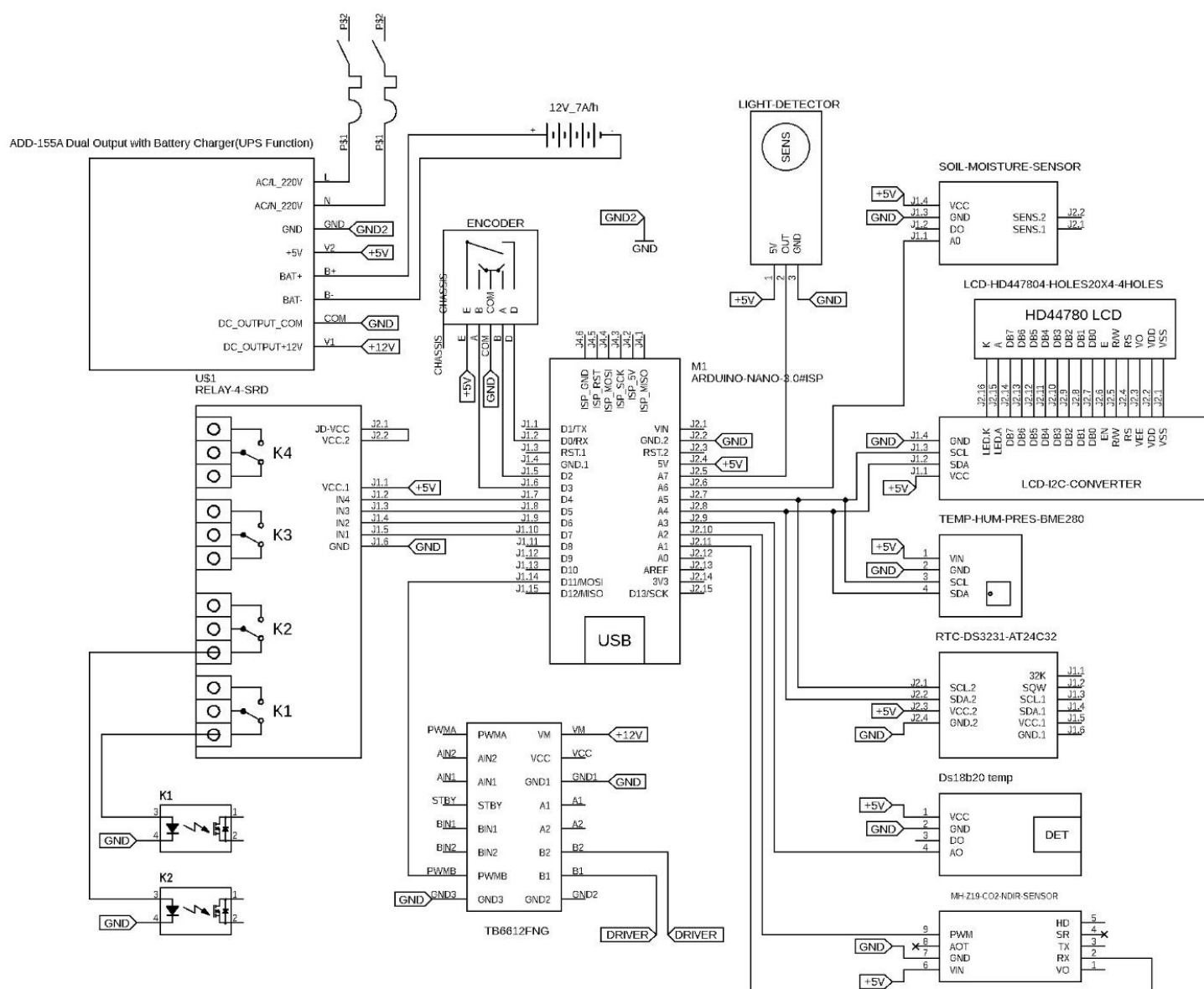


Рисунок 3.1 - Електрична принципова схема системи керування мікроклімату

Ультрачервоний датчик МН-Z19В використовується для контролю рівня CO₂ і має можливість калібрування. Датчик ВМЕ280 відслідковує вологість та температуру повітря, а датчик DS18B20 вимірює температуру води. Для вимірювання вологості ґрунту використовується ємкісний датчик вологості, а освітленість контролюється за допомогою фоторезистора. Для підтримки автономності та виміру часу в систему включено модуль реального часу DS3231 (RTC). Система керує виконавчими органами, такими як приводи, за допомогою блоків реле та драйвера приводу. Згідно з розрахунками споживаної потужності, живлення системи забезпечується промисловим блоком живлення (БЖ) напругами 12В та 5В з функцією резервного живлення від акумуляторної батареї. ADD-155A [22] (рис. 3.2, 3.3) У цьому проекті проведено заземлення вузлів, що розташовані на корпусі металеві шафи, з метою їх подальшого підключення до існуючого заземлювального контуру.



Рисунок 3.2 - Блок живлення ADD-155A [22]

MODEL		ADD-155A			ADD-155B			ADD-155C		
OUTPUT	OUTPUT NUMBER	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3	CH1	CH2	CH3
	DC VOLTAGE	13.8V	5V	13.3V	27.6V	5V	27.1V	54V	5V	53.5V
	RATED CURRENT	9.5A	3A	0.5A	4.5A	3A	0.5A	2.3A	3A	0.2A
	CURRENT RANGE	0 – 10.5A	0 – 3A	-----	0 – 5A	0 – 3A	-----	0 – 2.5A	0 – 3A	-----
	RATED POWER	152.75W			152.75W			149.9W		
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	100mVp-p	-----	200mVp-p	100mVp-p	-----	240mVp-p	100mVp-p	-----
	VOLTAGE ADJ. RANGE	CH1: 12 – 14.5V			CH1: 24 – 29V			CH1: 48 – 58V		
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	± 2.0%	± 3.0%	-----	± 1.0%	± 3.0%	-----	± 1.0%	± 5.0%	-----
	LINE REGULATION	± 1.0%	± 0.5%	-----	± 1.0%	± 0.5%	-----	± 1.0%	± 0.5%	-----
	LOAD REGULATION	± 1.0%	± 2.0%	-----	± 1.0%	± 2.0%	-----	± 1.0%	± 2.0%	-----
SETUP, RISE TIME	1000ms, 90ms/230VAC			2000ms, 90ms/115VAC at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	24ms/230VAC			20ms/115VAC at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	88 – 264VAC			124 – 370VDC					
	FREQUENCY RANGE	47 – 63Hz								
	POWER FACTOR (Typ.)	PF>0.92 at full load								
	EFFICIENCY (Typ.)	78%			81%			81%		
	AC CURRENT (Typ.)	2.5A/115VAC			1.5A/230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 23A/115VAC			45A/230VAC					
LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC									
PROTECTION	OVERLOAD	CH1,CH2:105 – 135%			CH3:0.51 – 0.9A rated output power			Protection type : AC Charging Mode : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed UPS Mode : Protected by internal fuse		
	OVER VOLTAGE	CH1:15.87 – 18.63V			CH1:31.74 – 37.26V			CH1:62.1 – 72.9V		
	BATTERY LOW	10V ± 0.8V			19.5V(+1.5V,-1V)			39V ± 2V		
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")								
	WORKING HUMIDITY	20 – 90% RH non-condensing								
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 – 95% RH								
	TEMP. COEFFICIENT	± 0.03%/°C (0 – 50°C) on +5V output								
	VIBRATION	10 – 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes								
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	UL62368-1, TUV EN62368-1, EAC TP TC 004 approved								
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC								
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH								
	EMC EMISSION	Compliance to EN55032 (CISPR32) Class B, EN61000-3-2,-3, EAC TP TC 020								
	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN55024, light industry level, criteria A, EAC TP TC 020								

Рисунок 3.3 - Характеристики БЖ ADD-155 [22]

3.2 Розрахунок потужності системи

Розрахунок потужності системи є важливою складовою проектування будь-якої системи. В разі системи керування теплицею, потужність визначається з урахуванням різних компонентів системи та їх енергетичних вимог.

Перш за все, необхідно врахувати споживану потужність кожного електричного пристрою, що використовується в системі, таких як насоси для поливу, обігрівачі, освітлення та інші. Для цього зазвичай перевіряються технічні характеристики кожного пристрою, включаючи його робочу напругу та поточне споживання.

Крім того, слід враховувати час, протягом якого кожен пристрій використовується в системі. Наприклад, якщо насос використовується протягом 1 години на день, а освітлення працює 12 годин на день, то їх потужності слід врахувати відповідно до цих часових періодів.

Додатково, потрібно врахувати втрати енергії від проводів, реле, перетворювачів постійного струму і інших компонентів системи. Ці втрати можуть бути визначені на основі технічних характеристик кожного компонента та враховуються при розрахунку загальної потужності системи.

Загалом, розрахунок потужності системи керування теплицею вимагає детального аналізу електричних пристроїв, їх робочого часу та втрат енергії. Це допомагає забезпечити ефективне та стабільне функціонування системи, а також правильно виміряти необхідну потужність живлення.

Потужність – це фізична величина, що дорівнює відношенню здійсненої роботи під час цієї роботи.

Потужність електричного струму (P) - величина, що характеризує швидкість перетворення електричної енергії в інші види енергії. Міжнародна одиниця виміру - Ватт (Вт).

На таблиці 2.1 наведена таблиця розрахунку потужності по струму і напрузі для постійного струму: $P = I \times U$;

Таблиця 2.1 – Розрахунок потужності для постійного струму

Споживачі 5 В :						
№	Найменування технічних засобів	К-сть, шт	Номінальна напруга, В	Максимальний споживаємий струм, А	Потужність обладнання, Вт	Сумарна потужність обладнання, Вт
1	Arduino Nano	1	5	0,800	4,000	4,000
2	Дисплей LCD2004	1	5	0,180	0,900	0,900
3	Модуль реального часу DS3231	1	5	0,005	0,025	0,025
4	Блок реле 8R	1	5	0,100	0,500	0,500
5	Драйвер двигуна TB6612FNG	1	5	0,010	0,050	0,050
6	Датчик температури DS18B20	1	5	0,001	0,005	0,005
7	Датчик температури та вологості BOSH BME280	1	5	0,004	0,020	0,020
8	Датчик вуглекислого газу MHZ19B	1	5	0,060	0,300	0,300
9	Датчик освітлення на фото резисторі	1	5	0,001	0,005	0,005
10	Датчик вологості емнісний	1	5	0,007	0,035	0,035
Загальна потужність споживачів 5 В:		10	5		0,000	5,840
	Блок живлення AC/DC з функцією UPS MeanWell ADD-155A 152,75BT, CH1 - 13,8В/9,5А, CH2 - 5В/3А , CH3 - 13,3В/ 0,5А	1	5	3,000	15,000	15,000
Споживачі 12 В :						
№	Найменування технічних засобів	К-сть, шт	Номінальна напруга, В	Максимальний споживаємий струм, А	Потужність обладнання, Вт	Сумарна потужність обладнання, Вт
1	Силове реле JOTA 40A	2	12	0,050	0,600	1,200
2	Привід лінійний з редуктором 90 Н/м	1	12	2,500	30,000	30,000
3	Помпа	1	12	1,500	18,000	18,000
Загальна потужність споживачів 12 В:		4				49,200
	Блок живлення AC/DC з функцією UPS MeanWell ADD-155A 152,75BT, CH1 - 13,8В/9,5А , CH2 - 5В/3А, CH3 - 13,3В/ 0,5А	1	12	9,500	114,000	114,000

3.3 Конструктивне виконання шафи керування

Основні керуючі елементи системи розміщено в металевій шафі від компанії Eleton моделі МКН3302, яка відповідає кліматичному стандарту IP54. Шафа призначена для встановлення всередині теплиці. (рис. 3.4).

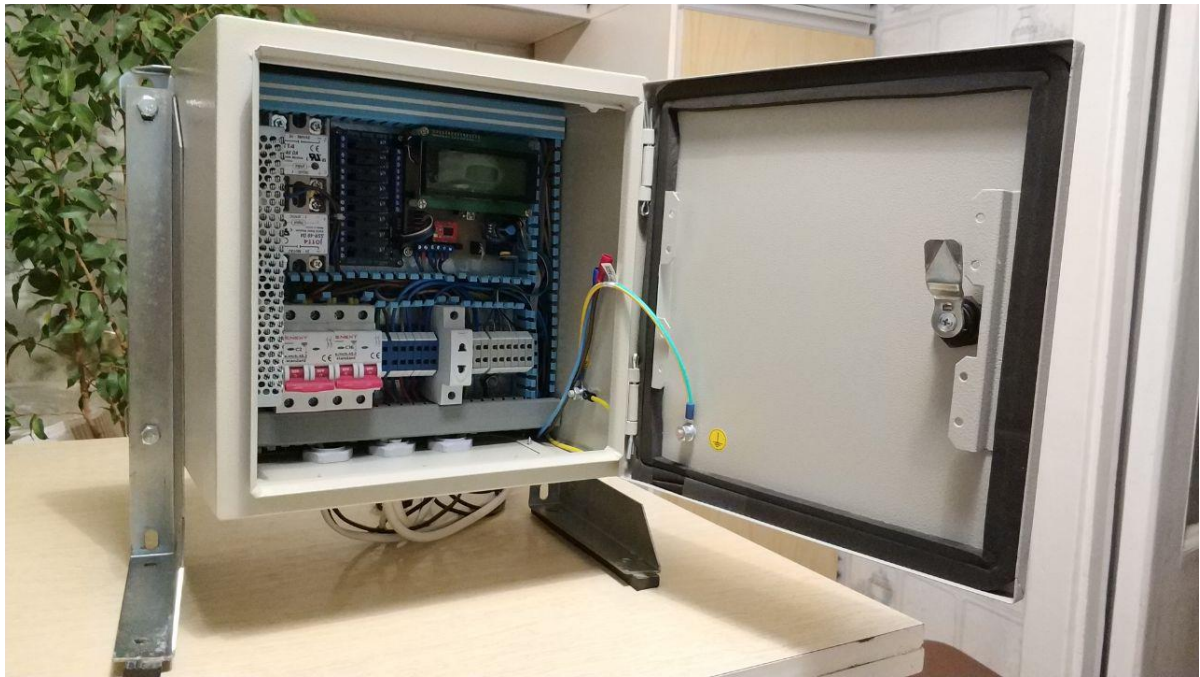


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд шафи керування із стійками

Монтаж здійснено на штатній панелі МКН332 з використанням DIN-рейок шириною 35 мм та перфорованих коробів ІЕК розміром 25x40 мм. Для забезпечення захисту використовуються двополюсні автоматичні вимикачі від компанії e.Next (рис. 3.5). Перше налаштування системи проводилося на комп'ютері за допомогою інтерфейсу Mini USB в середовищі Arduino IDE (рис. 3.6).

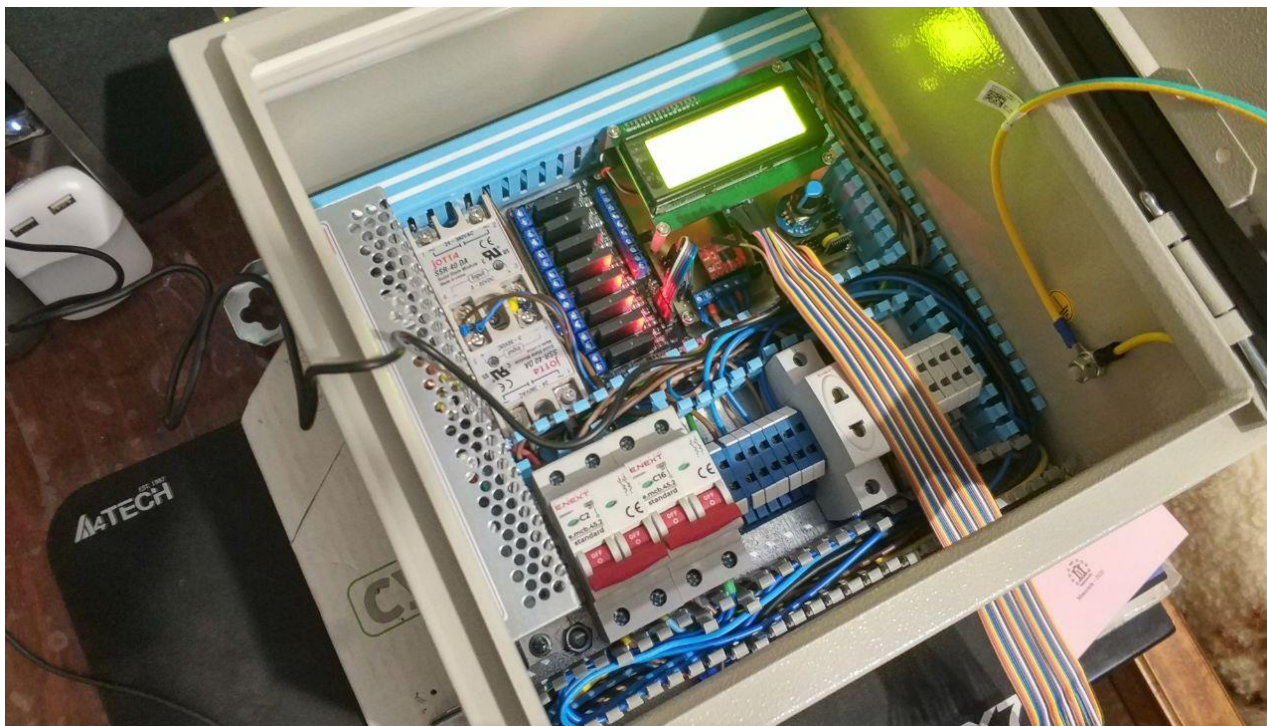


Рисунок 3.5 - Внутрішній вигляд шафи з елементами

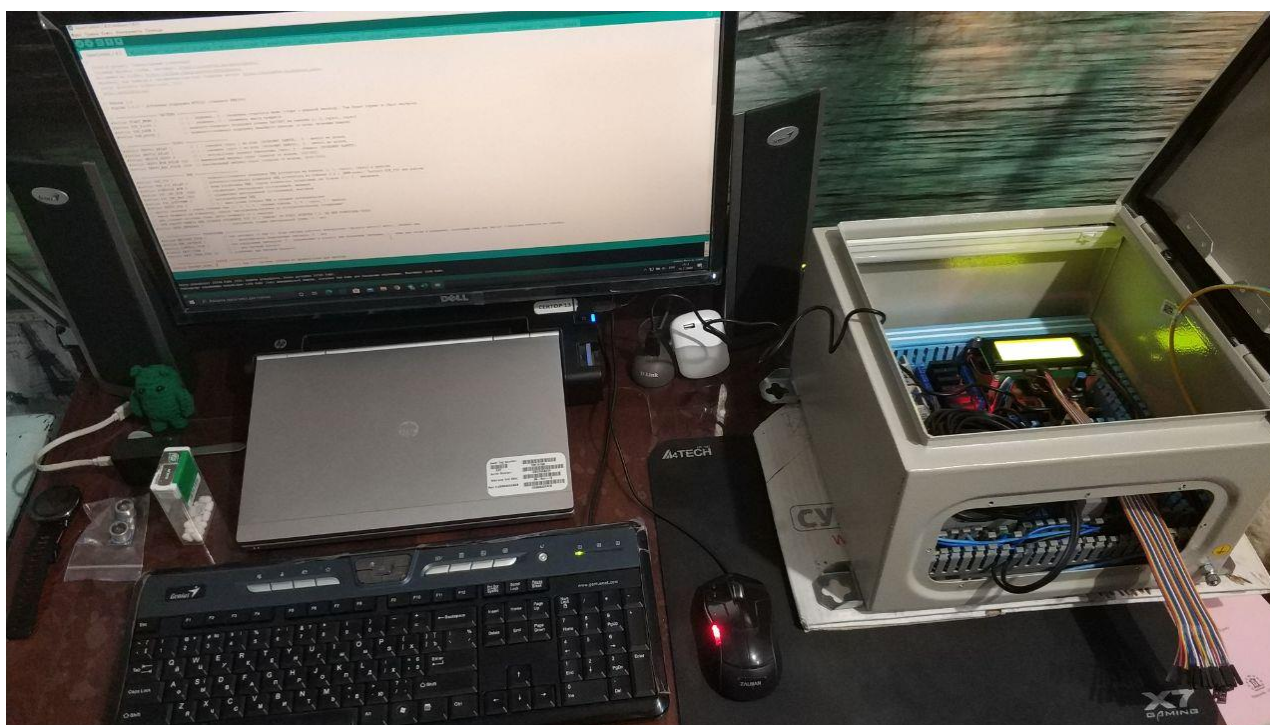


Рисунок 3.6 - Перше налаштування системи керування мікрокліматом

Монтаж електричних ланцюгів здійснено за допомогою клемних з'єднувачів ІЕК ЗНІ-4. У шафі присутня сервісна розетка e.Next з напругою 220В, а також використовується LED-лампа в якості джерела освітлення.

Для даного проекту розроблено та виготовлено односторонню друковану плату методом ЛУТ (лазерно-«утюжна» технологія), на якій розміщені всі компоненти схеми. Зовнішній вигляд друкованої плати показаний на рис. 3.7.



а) б)
Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд витравленої плати:
а - сторона з елементами; б - друкована сторона;

Задіяний графічний варіант розмітки плати для подальшого перенесення на текстоліт за допомогою ЛУТ технології (рис 3.8).

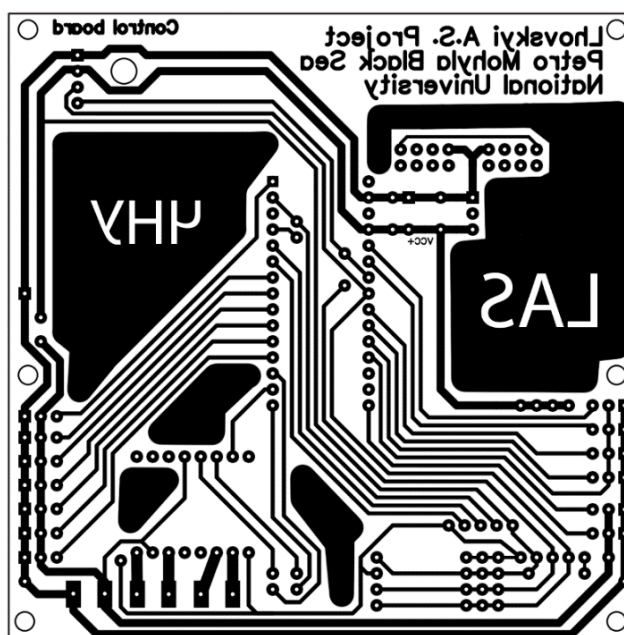


Рисунок 3.8 – Графічне зображення печатної плати

3.4 Економічна складова проекту

Економічна складова проекту спрямована на консолідацію існуючих рішень для автоматизації керування мікрокліматом в теплиці з використанням мікроконтролера Arduino Nano. Основною метою проекту є об'єднання різних компонентів та технологій з метою створення ефективної та інтегрованої системи керування мікрокліматом для теплиць.

Проект розроблявся з врахуванням критеріїв бюджетності, якості та функціональності. Бюджетний аспект визначався необхідністю раціонального використання ресурсів та оптимізації витрат. Якість була однією з ключових умов успішної реалізації проекту, забезпечуючи надійну та стабільну роботу системи керування мікрокліматом. Функціональність орієнтувалась на задоволення потреб користувачів та включала широкий спектр функцій та можливостей. Нижче наведено кошториси даного проекту (табл. 3.1 табл.3.2):

Таблиця 3.1 - Кошторис шафи керування (ціни актуальні на момент 12.01.2022)

№	Найменування технічних засобів	К-сть, шт	Ціна за од. з ПДВ, грн.	Вартість з ПДВ, грн.
1	Металева шафа монтажна настінна МКН 332, ступінь захисту IP-54	1	771	771
2	Arduino Nano v 3.0	1	149	149
3	LCD дисплей 2004	1	154	154
4	Електрична монтажна плата	1	200	200
5	Двоканальний драйвер двигунів на TB6612FNG	1	67	67
6	Модуль реального часу з іоністором DS3231	1	67	67
7	Енкодер	1	37	37
8	Модуль твердотільних реле на 8 каналів	1	334	334
9	Силове реле JOTA 40A	2	147	294
10	Блок живлення AC/DC з функцією UPS MeanWell ADD-155A	1	1618	1618
11	Акумуляторна батарея RITAR AGM RT1270, 12V-7AH (RT1270)	1	329	329

12	Автоматичний вимикач e.mcb.stand. 42.2. C2, 2P 2A	1	89	89
13	Автоматичний вимикач e.mcb.stand. 42.2. C16, 2P 16A	1	89	89
14	Сервісна розетка на DIN рейку e.soket.stand.din., 230В	1	46	46
15	Світильник світлодіодний лінійний, накладний T5 e.LED.ch.T5B300.5.6500 5Вт 6500К (eNext)	1	111	111
16	Зажим набірний ЗНИ-4 мм ² сірий, ІЕК	9	7	63
17	Заглушка ІЕК ЗНИ-4-6 сіра, ІЕК	2	3	6
18	Зажим набірний ЗНИ-4 мм ² синій, ІЕК	8	7	56
19	Заглушка ІЕК ЗНИ-4-6 синя, ІЕК	2	3	6
20	Сальник PG 29 діаметр провідника 18-24мм IP54 ІЕК	3	20	60
21	DIN-рейка (30см) оцинкована ІЕК	1	9	9
22	Кабель-канал перфорований 25x40 ИМПАКТ ІЕК 2 м	1	120	120
23	Накінецьник втулковий ізолюваний ІЕК Е 2,5-08 (2508) 50шт.	1	18	18
24	Накінецьник втулковий ізолюваний НВИ 2-4, ІЕК	8	1	8
25	Роз'єм плоский ізолюваний (мама) РпИм 2-250, ІЕК	2	1	2
26	Фіксатор на дін-рейці АСКО-УКРЕМ EW-35 (A0130030007)	2	4	8
27	Саморіз по металу св/прес-шайбой 4,2x16 20шт	1	8	8
28	Дріт монтажний ПВ-3 1x1,5 мм, м	5	8	40
29	Дріт монтажний ПВ-3 1x2,5 мм, м	5	12	60
Всього з ПДВ:		66		4819

Таблиця 3.2 – кошторис обладнання та матеріалів (*актуально на 12.01.2022)

№	Найменування технічних засобів	К-сть, шт	Ціна за од. з ПДВ, грн.	Вартість з ПДВ, грн.
---	--------------------------------	-----------	-------------------------	----------------------

1	Привід лінійний (актуатор) 750N	1	1620	1620
2	Безщітковий циркуляційний водяний насос	1	309	309
3	DALLAS DS18B20 датчик температури герметичний	1	35	35
4	Датчик температури та вологості BOSCH BME280	1	130	130
5	Датчик вуглекислого газу MHZ19	1	871	871
6	Датчик освітлення на фоторезисторі	1	21	21
7	Датчик вологи ємнісний	1	39	39
8	Гніздо з заземленням Lemanso євро / LMA022	3	26	78
9	Кабель силовий ШВВП 2x0,75мм, м	4	8	32
10	Кабель силовий ШВВП 3x1мм, м	5	22	110
11	Кабель силовий ПВС 2x1,5мм, м	6	30	180
12	Тепловентилятор SATURN ST-HT7645K	1	197	197
13	Лампа світлодіодна для рослин LightMaster LB-660 9 Вт А60 прозора E27 220 В	1	143	143
Всього з ПДВ:		27		3765

Висновки до третього розділу

В результаті розрахунку встановлено необхідну потужність для ефективної роботи системи керування мікрокліматом. Виконання розрахунків дозволило забезпечити оптимальне живлення всіх компонентів системи та дозволити працювати без перебоїв.

Розроблена електрична принципова схема, яка включала всі необхідні компоненти для керування мікрокліматом в теплиці. Вона дозволила забезпечити точний контроль над різними параметрами, такими як вологість, температура, освітленість та CO₂, і забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

Розроблено та виготовлено шафу керування, яка відповідає всім необхідним вимогам та стандартам. Конструкція забезпечує надійний захист електричних компонентів від небажаних зовнішніх впливів і забезпечує безперебійну роботу системи керування мікрокліматом.

Проект розроблений з урахуванням економічних факторів. Використовуються бюджетні рішення, передові технології та раціональне використання ресурсів. Це дозволило забезпечити оптимальну вартість проекту і зробити його економічно доцільним.

4. МЕТОДИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ

4.1 Загальний огляд можливих методів (законів) керування. Закони керування мікропроцесорними системами виконаних для відслідковування показників з метою їх зміни в необхідний час

Методи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту використовуються для забезпечення оптимальних умов мікроклімату в теплицях та інших приміщеннях, де вирощуються рослини. Ці методи дозволяють підтримувати стабільну температуру, вологість та освітленість, що позитивно впливає на розвиток рослин та їх врожайність.

Одним з методів керування мікрокліматом є використання автоматизованих систем контролю та керування. Ці системи вимірюють показники температури, вологості, освітленості та інших параметрів мікроклімату та автоматично регулюють роботу систем опалення, охолодження, зволоження та освітлення. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови мікроклімату протягом усього дня та ночі, що максимально сприяє розвитку рослин, також використання різноманітних приладів та обладнання, таких як вентилятори, кондиціонери, зволожувачі, освітлювальні системи та інші. Ці засоби дозволяють регулювати рівень вологості, температури та освітленості в приміщенні в залежності від потреб культури рослин. Ці системи дозволяють підтримувати стабільний рівень вологості та повітряного обміну в приміщенні, що сприяє здоровому розвитку рослин та попереджує виникнення хвороб.

Інший метод керування мікрокліматом - це використання спеціальних матеріалів для покриття теплиць та інших приміщень. Наприклад, скло з низькоемісійним покриттям дозволяє зменшити втрати тепла та забезпечує ефективніше використання енергії, необхідної для опалення. Також використовуються спеціальні полімерні матеріали, які дозволяють зберігати вологу та тепло в середині приміщення та захищають рослини від шкідливого впливу зовнішніх факторів.

Загальний огляд можливих законів керування включає:

- Пропорційний закон керування. Цей метод передбачає регулювання вихідного сигналу пропорційно до відхилення вимірюваного показника від заданого значення. Такий метод досить простий, але не дозволяє досягнути точної сталості показників у режимі сталої роботи (рис.4.1).

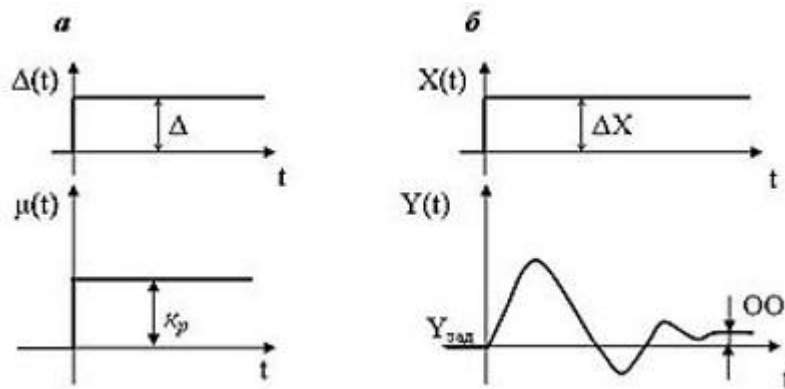


Рисунок 4.1 – Перехідна функція П-регулятора

- Інтегральний закон керування. Цей метод використовується для компенсації невеликих похибок пропорційного закону. За допомогою інтегрального закону керування забезпечується точність регулювання, але може виникати проблема зі збільшенням часу на досягнення сталої режиму роботи.

Закон при якому керуючий сигнал, що виробляється автоматичним регулятором, дорівнює інтегралу від розузгодження в часі:

$$U = K_2 \int \varepsilon dt,$$

- Диференційний закон керування. Цей метод використовується для компенсації змін зовнішніх умов та динамічних перехідних процесів. Диференційний закон керування дозволяє швидко реагувати на зміни вхідного сигналу, але може призводити до появи коливань у вихідному сигналі. Диференціальний закон керування реалізується за допомогою диференціюючих ланок: $\Delta\mu = k \frac{\delta\Delta x}{\delta t}$

- Комбінований закон керування. Цей метод передбачає використання комбінації пропорційного, інтегрального та диференційного законів

керування з метою досягнення максимальної точності та сталості роботи (рис. 4.2).

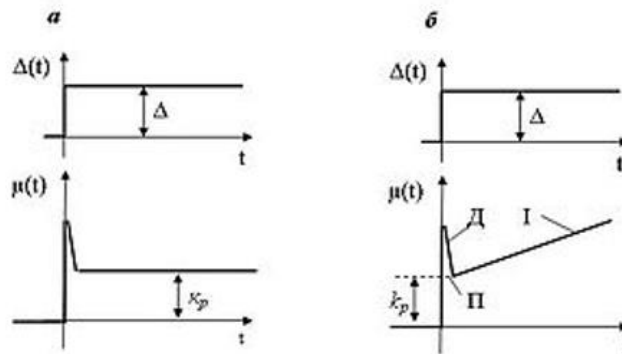


Рисунок 4.2 - Перехідна функція: (а) — ПД та (б) — ПІД-регулятора.

- Оптимальне керування. Цей метод передбачає використання математичних методів для знаходження оптимальних рішень в системах керування. Оптимальне керування дозволяє досягнути максимальної ефективності та точності регулювання, але вимагає складнішої обчислювальної техніки.

Узагальнюючи, методи (закони) керування в залежності від характеристик системи та поставлених завдань можуть бути різними за ефективністю, складністю реалізації та точністю регулювання.

Крім того, існують також методи керування, які використовуються для керування системами з нелінійними динамічними властивостями, наприклад, метод зворотного зв'язку по стану, метод зв'язку по вихідному сигналу, метод адаптивного керування, метод нечіткого керування та інші.

При виборі методу керування необхідно враховувати особливості конкретної системи та поставлені завдання, такі як точність регулювання, швидкість відгуку, стійкість до зовнішніх впливів та інші. Крім того, необхідно враховувати обмеження на обчислювальні ресурси та складність реалізації методу керування.

4.2 ПІД-регуляторний метод керування мікрокліматом

ПІД (пропорційно-інтегрально-диференційний) регуляторний метод керування є одним з найпоширеніших методів керування системами, які мають

складні динамічні характеристики. В контексті керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту, ПД-регуляторний метод дозволяє автоматично регулювати температуру, вологість, освітлення та інші параметри мікроклімату відповідно до заданої точності. Наприклад система управляє величиною $y(t)$, тобто виводить величину $y(t)$ на задане значення ззовні $r(t)$. На вхід ПД-регулятора подається помилка $e(t)$, вихід ПД-регулятора є впливом $u(t)$, що управляє, для деякого процесу (для об'єкта управління), керуючого величиною $y(t)$. (рис. 4.3) [23].

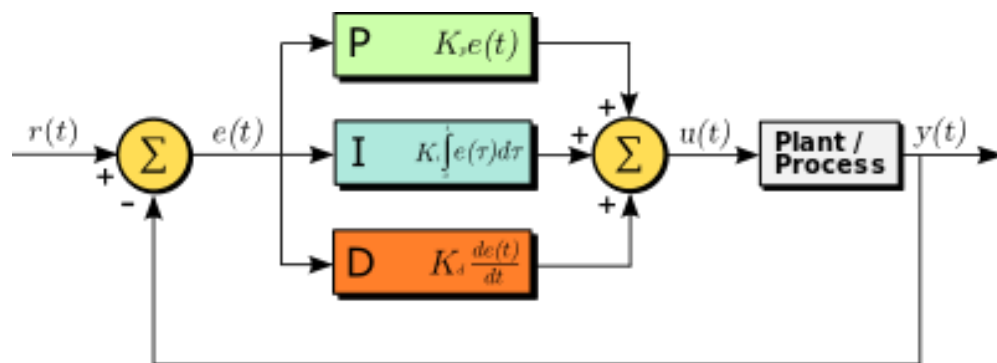


Рисунок 4.3 - Система управління із зворотним зв'язком за участю ПД-регулятора

Пропорційна складова (рис. 4.4 а) ПД регулятора забезпечує пропорційну залежність виходу системи від різниці між поточним значенням та заданим значенням. Це означає, що чим більша різниця між поточним значенням та заданим значенням, тим більша буде сила впливу пропорційної складової на вихід системи.

Інтегральна складова (рис. 4.4 б) ПД регулятора забезпечує інтегруючий ефект виходу системи, тобто залежність виходу від часу інтегрує різницю між поточним значенням і заданим значенням. Це означає, що чим довше система не доходить до заданого значення, тим більшу силу впливу має інтегральна складова на вихід системи.

Диференційна складова (рис. 4.4 с) ПД регулятора забезпечує диференціюючий ефект виходу системи, тобто залежність виходу від швидкості зміни вхідного сигналу. Це означає, що чим швидше змінюється вхідний сигнал, тим більша буде сила впливу диференційної складової на вихід системи.

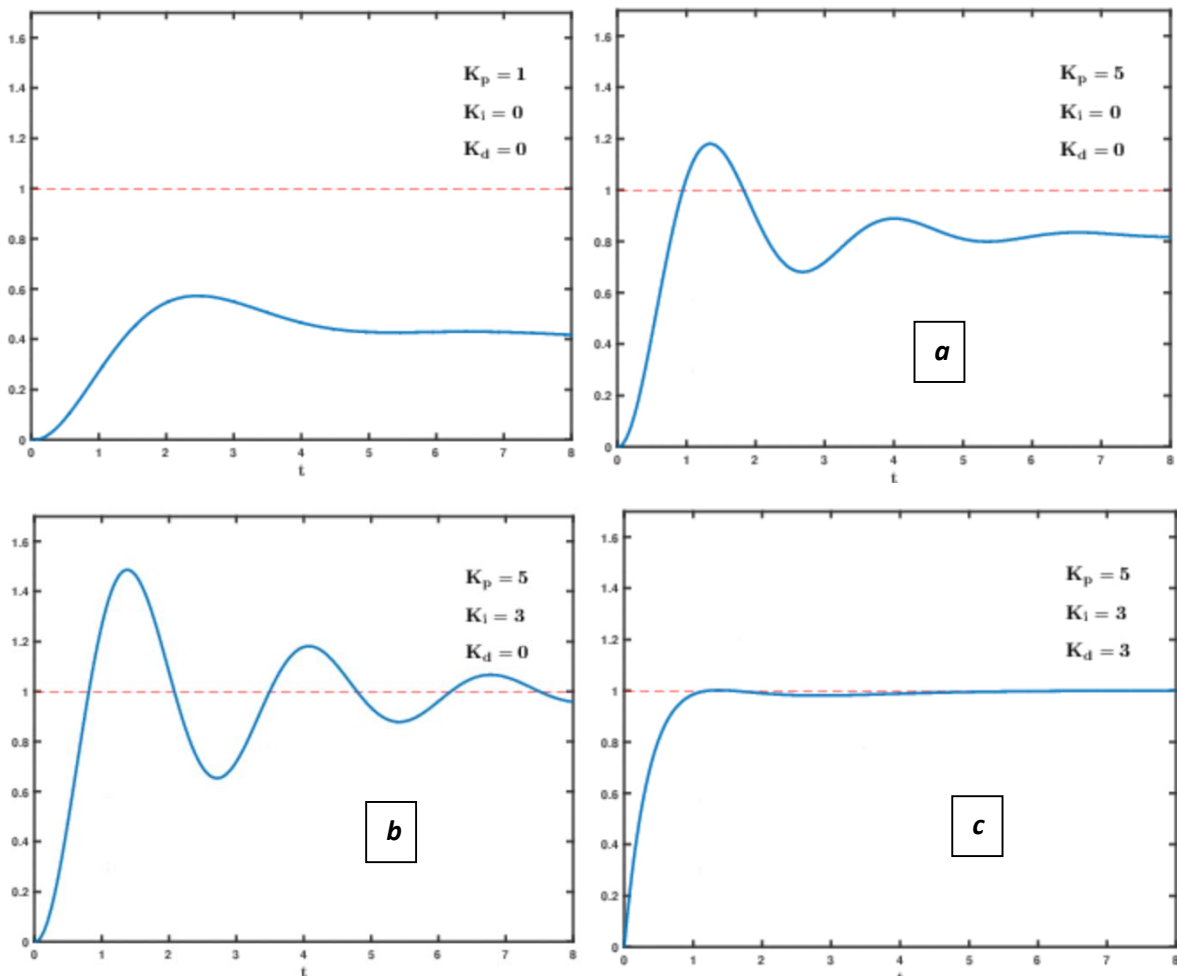


Рисунок 4.4 - Вплив зміни параметрів PID (K_p , K_i , K_d) на перехідну характеристику системи.

Інтегруючий ефект інтегральної складової ПІД регулятора дуже корисний для керування мікрокліматом, оскільки параметри мікроклімату можуть змінюватись дуже повільно, і система повинна забезпечити стабільність параметрів на довгий час. Пропорційна складова ПІД регулятора допомагає управляти моментом зміни параметрів мікроклімату, тоді як диференціальна складова допомагає управляти швидкістю зміни цих параметрів.

Для того, щоб застосувати ПІД регуляторний метод в керуванні мікрокліматом, потрібно використовувати сенсори, які вимірюють значення температури, вологості, освітлення та інших параметрів мікроклімату. Зібрані дані передаються до ПІД регулятора, який обробляє ці дані та відповідно до налаштувань видає сигнали керуючого пристрою, який в свою чергу регулює параметри мікроклімату відповідно до заданого значення.

Одним з найважливіших елементів ПІД регуляторного методу є зворотний зв'язок. Зворотний зв'язок забезпечує зв'язок між сенсорами та керуючим пристроєм, що дозволяє коригувати параметри мікроклімату в реальному часі. Зворотний зв'язок дозволяє системі керування реагувати на зміни параметрів мікроклімату в приміщенні та швидко коригувати роботу системи, щоб забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

ПІД регуляторний метод керування мікрокліматом є дуже ефективним методом, оскільки він дозволяє автоматично контролювати і коригувати параметри мікроклімату для досягнення найкращого результату з точки зору росту та розвитку рослин. Проте, для успішного використання ПІД регулятора в керуванні мікрокліматом, необхідно мати достатньо знань про налаштування та роботу цієї системи, а також використовувати високоякісні сенсори та керуючі пристрої, щоб забезпечити стабільність та точність регулювання параметрів мікроклімату.

У контексті керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту, ПІД регуляторний метод може бути використаний для керування різними параметрами мікроклімату, такими як температура, вологість, освітлення, рівень CO₂ та інші.

Наприклад, для керування температурою можна використовувати сенсори температури, які будуть вимірювати температуру повітря в приміщенні. ПІД регулятор буде обробляти ці дані та видає сигнали керуючому пристрою, який може регулювати роботу обігрівачів або охолоджувачів, щоб забезпечити потрібний рівень температури.

Для керування вологістю в приміщенні можна використовувати сенсори вологості, які будуть вимірювати вологість повітря. ПІД регулятор буде обробляти ці дані та видає сигнали керуючому пристрою, який може регулювати роботу зволожувачів або вентиляторів, щоб забезпечити потрібний рівень вологості.

Для керування рівнем CO₂ в приміщенні можна використовувати сенсори CO₂, які будуть вимірювати рівень CO₂ в повітрі. ПІД регулятор буде обробляти ці дані та видає сигнали керуючому пристрою, який може регулювати роботу вентиляторів або CO₂ генераторів, щоб забезпечити потрібний рівень CO₂ для рослин.

ПД регуляторний метод керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту та розвитку рослин, що в свою чергу може позитивно впливати на врожайність та якість продукції. Також використання ПД регуляторного методу дозволяє знизити витрати на електроенергію та воду, які використовуються для управління мікрокліматом в захищеному ґрунті, тому що система керування буде працювати більш ефективно та економно.

Крім того, ПД регуляторний метод може бути використаний для керування іншими параметрами, такими як освітлення, яке є дуже важливим для росту та розвитку рослин. За допомогою сенсорів освітлення, ПД регулятор може керувати включенням та вимиканням ламп, щоб забезпечити потрібний рівень світла для рослин.

4.3 Недоліки та переваги обраного методу керування

Комбінований ПД метод керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту є ефективним способом забезпечення стабільного клімату для рослин, та має свої переваги і недоліки.

Переваги комбінованого ПД методу керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту включають:

- Гнучкість: комбінований ПД метод може бути настроєний на виконання різних функцій, в залежності від потреб користувача. Він може регулювати температуру, вологість, концентрацію CO₂ та інші параметри мікроклімату в споруді захищеного ґрунту.
- Економічність: комбінований ПД метод може допомогти зменшити витрати на опалення, охолодження та інші енергетичні витрати. Він може забезпечити ефективніше використання енергії та ресурсів.
- Висока точність: комбінований ПД метод забезпечує високу точність регулювання параметрів мікроклімату в споруді захищеного ґрунту і дозволяє досягнути точності керування в межах $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Це забезпечує

максимальну ефективність роботи системи та знижує ризик виникнення проблем.

- Забезпечує швидкість реагування на зміни показників. Комбінований ПДД метод дозволяє швидко реагувати на зміни внутрішніх та зовнішніх умов, що забезпечує стійкий рівень клімату в приміщенні.
- Можливість автоматизації. Комбінований ПДД метод може бути повністю автоматизований, що зменшує витрати на управління та забезпечує оптимальні умови для росту рослин.

Недоліки комбінованого ПДД-методу включають:

- Складність управління: комбінований ПДД-метод потребує налагодження та настроювання, що може бути складним для користувача. Неправильно налаштована система може призвести до недостатнього контролю над мікрокліматом в споруді захищеного ґрунту.
- Ризик виникнення помилок: комбінований ПДД-метод може викликати помилки, які можуть призвести до неправильного регулювання параметрів мікроклімату в споруді захищеного ґрунту. Необхідно ретельно усе налаштовувати.
- Висока складність реалізації. Комбінований ПДД метод є досить складним для реалізації та вимагає високої кваліфікації фахівців.
- Необхідність налагодження. Комбінований ПДД метод потребує постійного налагодження та підтримки, що може займати значну кількість часу та зусиль фахівців.

4.4 Створення математичної моделі технологічного процесу, оцінка статичних та динамічних характеристик і визначення передаточної функції для об'єкта управління мікрокліматом у теплиці

Для того, щоб вирощувати будь які агрокультури протягом всього року в тепличних підприємствах, потрібно реалізовувати систему підігріву повітря та ґрунту. Тому створимо математичну модель опалення в теплиці. Температура повітря t_p в теплиці є однаковою для всього її обсягу, а температура води в

опалювальних трубах t_v є середньоарифметичним значенням між вхідною температурою гарячої води t_g та температурою води на виході з теплиці t_y . На (рис. 4.5) можна побачити об'єкт у вигляді двох ланок, які накопичують енергію: ланку води, яка нагрівається, та ланку повітря теплиці, яка підігрівається цією водою.

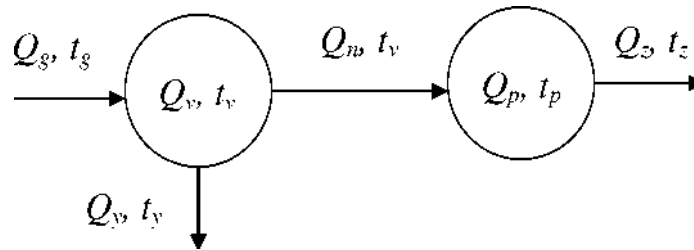


Рисунок 4.5 - Схема розподілення тепла в теплиці,

- де t_p - температура повітря;
 t_v - температура води в опалювальних трубах;
 t_g - температура гарячої води на вході;
 t_y - температура води на виході;
 t_z - температура зовнішнього середовища;
 Q_p - тепло, котре знаходиться в повітрі;
 Q_v - тепло, котре знаходиться у воді;
 Q_g - тепло введене з водою;
 Q_y - тепло виведене з водою;
 Q_n - тепло, що перейшло до повітря;
 Q_z - тепло втрачене в навколишній простір.

У статичному режимі значення тепла, що зберігається у воді Q_v та у повітрі теплиці Q_p , залишаються постійними. Тому ми можемо встановити два рівняння теплового балансу - одне для води та інше для повітря в теплиці:

$$Q_g - Q_y - Q_n = 0, Q_n - Q_z = 0, \quad (4.1)$$

- де Q_g - тепло введене з водою;
 Q_y - тепло виведене з водою;
 Q_n - тепло, що перейшло до повітря;
 Q_z - тепло втрачене в навколишній простір.

Кількість тепла, що надходить в систему опалення теплиці за секунду та кількість тепла, що виходить з неї, залежить від таких чинників, як теплоємність води C_v , продуктивність насоса G_n , густина води ρ_v та її температура. Крім того, кількість тепла, що знаходиться в системі опалення, залежить від об'єму води в системі V_v . Відповідно до цього, можна стверджувати, що значення кількості тепла, що надходить та виходить з системи опалення теплиці, залежить від декількох факторів, таких як теплоємність води, продуктивність насоса, густина води та її температура, а також об'єм води в системі згідно за формулою:

$$\begin{aligned} Q_g &= C_v G_n \rho_v t_g, \\ Q_y &= C_v G_n \rho_v t_y, \\ Q_v &= C_v V_v \rho_v t_v \end{aligned} \quad (4.2)$$

Кількість тепла, що зберігається в даному приміщенні, залежить від кількох факторів, таких як теплоємність повітря C_p , його густина ρ_p , відповідна температура повітря t_p та об'єм теплиці V_p :

$$Q_p = C_p V_p \rho_p t_p \quad (4.3)$$

Використовуємо закон Фур'є для розрахунку кількості тепла, що передається від води через стінку труби до повітря, а також від повітря через скло теплиці до навколишнього повітря:

$$\begin{aligned} Q_n &= k_1 F_t (t_v - t_p), \\ Q_z &= k_2 F_c (t_p - t_z), \end{aligned} \quad (4.4)$$

де k_1 k_2 – коефіцієнти теплопередачі через стінки труби системи опалення та через скло поверхні теплиці;

F_t , F_c – поверхня труби системи опалення та поверхня теплиці, яка покрита склом;

t_z – температура навколишнього середовища. Коефіцієнти теплопередачі обчислюються за відповідною формулою.:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_{tp}}}$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{cz}}}$$
(4.5)

У рівнянні коефіцієнти тепловіддачі означають: α_{vt} – коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки труби, α_{tp} – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до повітря теплиці, α_{pc} – коефіцієнт тепловіддачі від повітря теплиці до скла стінки теплиці та α_{cz} – коефіцієнт тепловіддачі від скла до навколишнього повітря.

λ_t λ_c - коефіцієнти теплопровідності відповідно сталі труби і скла стінки;

δ_t δ_c - товщина стінки труби і скла.

Далі ми повинні перетворити статичну модель на динамічну, застосувавши всі попередні рівняння. Це дасть нам систему диференціальних рівнянь, яка описує зміну кількості тепла в часі для води та повітря (обсяг середовища, густина, теплоємність повітря та води залишається незмінним). Для знаходження похідних відповідно до температури (середньої) води t_v та температури повітря t_p в теплиці:

$$C_v V_v \rho_v \frac{dt_v}{d\tau} = C_v G_n \rho_v t_g - C_v G_n \rho_v t_y - k_1 F_t (t_v - t_p),$$

$$C_p V_p \rho_p \frac{dt_p}{d\tau} = k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)$$
(4.6)

Зауважвши, що $t_v = (t_g + t_y)/2$, середня температура води у теплиці t_v є середнім значенням між температурою гарячої води t_g та температурою охолодженої води t_y , ми можемо знайти значення температури охолодженої води у теплиці та підставити її в рівняння (2.6). Після спрощення ми отримаємо рівняння (2.6) у формі Коші:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v}(t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_v V_v \rho_v},$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p} \quad (4.7)$$

У тепличному підприємстві також відбувається процес обміну вологою, який залежить від температури, активності фотосинтезу та інших факторів. Для цього складається схема потоків вологи, яка в статичному режимі зображена на рис. 2.2:

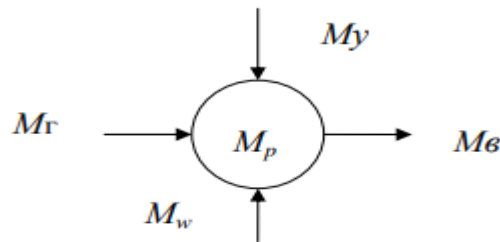


Рисунок 4.6 – Схема потоків вологи в теплиці з вентиляцією **де M_p** – вологість в теплиці;

M_y, M_e - вологість введена і виведена з вентиляційним повітрям;

M_m – вологість яка утворюється випаровуванням ґрунту;

M_w – вологість від прямого розпилення води.

Для визначення ефективності зволоження повітря шляхом розпилювання води важливими факторами є дисперсність рідинної фази та різниця парціальних тисків. Інтенсивність випаровування краплин може бути оцінена за формулою Максвела:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_k(\tau) \cdot D(\theta) \cdot m_w \cdot [P_H(\theta_w) - P(d)]}{R \cdot T} \quad (4.8)$$

де **m_k, r_k** – маса і радіус краплі кг, м;

$D(\theta)$ – коефіцієнт дифузії пари повітря;

m_w, R – молекулярна вага води у газовому стані та газова стала пари;

T - температура пари, К;

P_n, P_c – парціальний тиск пари над поверхнею краплі та в оточуючому середовищі, Па.

Рівняння Максвела також записують у вигляді :

$$-\frac{dm_k}{d\tau} = 4 * \pi * r_k * D * \frac{\rho_v}{\rho_w} (d_n - d_c) * 10^3 \quad (4.9)$$

де d_n, d_c - вологовміст повітря над поверхнею краплі та в повітрі, г/кг;
 ρ_w - густина повітря кг/м³.

Коли протікає ізобарно-адіабатичний процес змішування вологого повітря (у вологе повітря додають дрібно розпилену воду, з теплового та матеріального балансу об'єкта для не сталого режиму) отримаємо рівняння у вигляді:

$$m_v \frac{di_2}{d\tau} = G_w * i_w - G_v (i_2 - i_1) \quad (4.10)$$

$$m_w C_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = G_v (d_2 - d_1) r + G_w (\theta_w - \theta_w) C_w + G_v C_v (t_1 - t_2) \quad (4.11)$$

$$i_w = \frac{i_2 - i_1}{(d_2 - d_1) * 10^{-3}} \quad (4.12)$$

Де i_w - ентальпія води, кДж/кг;

$$i_w = c_w \theta_w = 4.19 \overline{\theta_w}; \quad (4.13)$$

θ_w – середня температура води, °С.

Враховуючи, що $i_w = a_j t - b_j d$, сумісним розв'язком для сталого режиму отримано рівняння:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v a} (4.19 * \overline{\theta_w} - b * 10^{-3}) + t_1 \quad (4.14)$$

За результатами розрахунку встановлено, що зволоження повітря дрібно розпиленою водою не впливає на температуру повітря, а ця остання визначається витратами повітря та води, а також температурою води, що надходить до розпилювача.

$$m_v \frac{dM_p}{d\tau} = G_w * d_w - G_v (M_p - d_1) \quad (4.15)$$

Використовуючи наближений запис для ентальпії вологого повітря:

$$i_v = c_p t_v + r_0 d_v r_0 = 2500$$

диференціальне рівняння, що описує динаміку змінення вологості повітря в теплиці, отримано за допомогою розв'язку (4.16):

$$\frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w * 10^3 + G_v d_1 \quad (4.16)$$

Отже, система диференційних рівнянь описує математичну модель зміни параметрів мікроклімату в теплиці, зокрема, температури та вологості:

$$\begin{aligned} \frac{dt_v}{d\tau} &= \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_v V_v \rho_v}, \\ \frac{dt_p}{d\tau} &= \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p} \\ \frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p &= G_w * 10^3 + G_v d_1 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Для створення моделі об'єкту необхідно розрахувати коефіцієнти системи рівнянь (4.5) з урахуванням розмірностей змінних, які характеризують процес теплопередачі.:

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0.002}{50} + \frac{1}{15}} = 11,837, \text{ Вт/м град} \\ k_2 &= \frac{1}{\frac{1}{7,5} + \frac{0.004}{0,74} + \frac{1}{10}} = 4,189, \text{ Вт/м град} \end{aligned}$$

Довжина нагрівальних труб при об'ємі системи опалення 80 м і внутрішньому діаметрі труби 44 мм складе:

$$L = \frac{80}{\frac{\pi \cdot 0,044^2}{4}} = 51613,2, \text{ м}$$

А її поверхня теплообміну:

$$F_t = 51613,2 \cdot \pi \cdot 0,048 = 7933,9, \text{ м}^2$$

Поверхню заскленої теплиці порахуємо, умовно вважаючи форму теплиці прямокутною:

$$F_c = 10000 + 500 \cdot 2 \cdot 3 + 20 \cdot 2 \cdot 3 = 13120, \text{ м}^2$$

а об'єм повітря в теплиці буде дорівнювати:

$$V_v = 10000 \cdot 3 = 30000, \text{ м}^3$$

Час запізнення розраховуємо по формулі:

$$\tau_\zeta = \frac{80}{4 \cdot \frac{270}{3600}} = 266,7, \text{ с}$$

Для полегшення створення імітаційної, блочної моделі, ми вводим додаткові коефіцієнти:

$$a1 = k_1 F_t = 11,837 \cdot 7933,9 = 93913,6$$

$$a2 = k_2 F_c = 4,189 \cdot 13120 = 54959,7$$

$$b1 = C_v \rho_v V_v = 100 \cdot 4174 \cdot 80 = 3,353 \cdot 10^8$$

$$b2 = C_p \rho_p V_p = 1005 \cdot 1,293 \cdot 30000 = 3,898 \cdot 10^7$$

Для рівняння вологості розв'язки мають вигляд:

$$t_2(\tau) = B - (B - t_{20})e^{\frac{\tau}{T_v}}; \quad (4.18)$$

$$d_2(\tau) = A_1 - (A_1 - d_{20})e^{\frac{\tau}{T_v}} \quad (4.19)$$

$$\varphi_2 = \frac{10^5 * dz}{622(232,7t_2 - 2394)}$$

$$\text{де, } T_v = \frac{m_v}{G_v}; \quad (4.20)$$

$$B = \frac{G_w}{G_v c_p} (4.19 * \overline{\theta_w} - r_0) + t_1; \quad (4.21)$$

$$A_1 = \frac{G_w}{G_v} 10^3 + d_1 \quad (4.22)$$

Залежності $t_2(\tau)$ та $d_2(\tau)$ описують перехідні процеси при зволоженні повітря дрібнодисперсною водою.

Отже, приведемо математичну модель до операторного вигляду:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dt_v}{d\tau} + t_v = k_1 t_g + k_2 t_p \\ T_2 \frac{dt_p}{d\tau} + t_p = k_3 t_v - k_4 t_z \\ T_3 \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = k_5 G_w + k_6 G_v - k_7 t_z \end{cases} \quad (4.23)$$

Де сталі часу та коефіцієнти передачі об'єкта розраховуються за формулами:

$$T_1 = \frac{C_v V_v \rho_v}{k_1 F_1}; \quad T_2 = \frac{C_p V_p \rho_p}{k_2 F_2}; \quad T_3 = \frac{m_v}{G_v}; \quad k_1 = \frac{2}{V_v}; \quad k_2 = \frac{k_1 F_1}{C_v V_v \rho_v}; \quad k_3 = \frac{k_1 F_1}{C_p V_p \rho_p};$$

$$k_4 = \frac{k_2 F_2}{C_z V_z \rho_z}; \quad k_5 = d_w; \quad k_6 = d_1; \quad k_7 = \frac{G_v}{F_c}$$

4.5 Дослідження моделі об'єкта керування

Математична модель, наведена в системі рівнянь, може бути використана для моделювання в пакеті Simulink.

Для подальшого дослідження об'єкта та вибору алгоритму керування будемо використовувати пакет прикладних програм Matlab Simulink для побудови структурної схеми математичної моделі, яка показана (на рис.4.7.) Для визначення основних динамічних властивостей об'єкта побудуємо розгінні характеристики по каналах регулювання температури та вологості в теплиці. Для цього на вхід об'єкта будемо подавати стрибкоподібний сигнал з номінальним значенням управляючого параметру. Управляюча дія для підтримання температури в теплиці буде полягати

в подачі гарячої води в трубопровід t_g , а для регулювання вологості - в подачі стисненого зволоженого повітря G_w . Збурюючою дією на систему є температура зовнішнього середовища t_z .

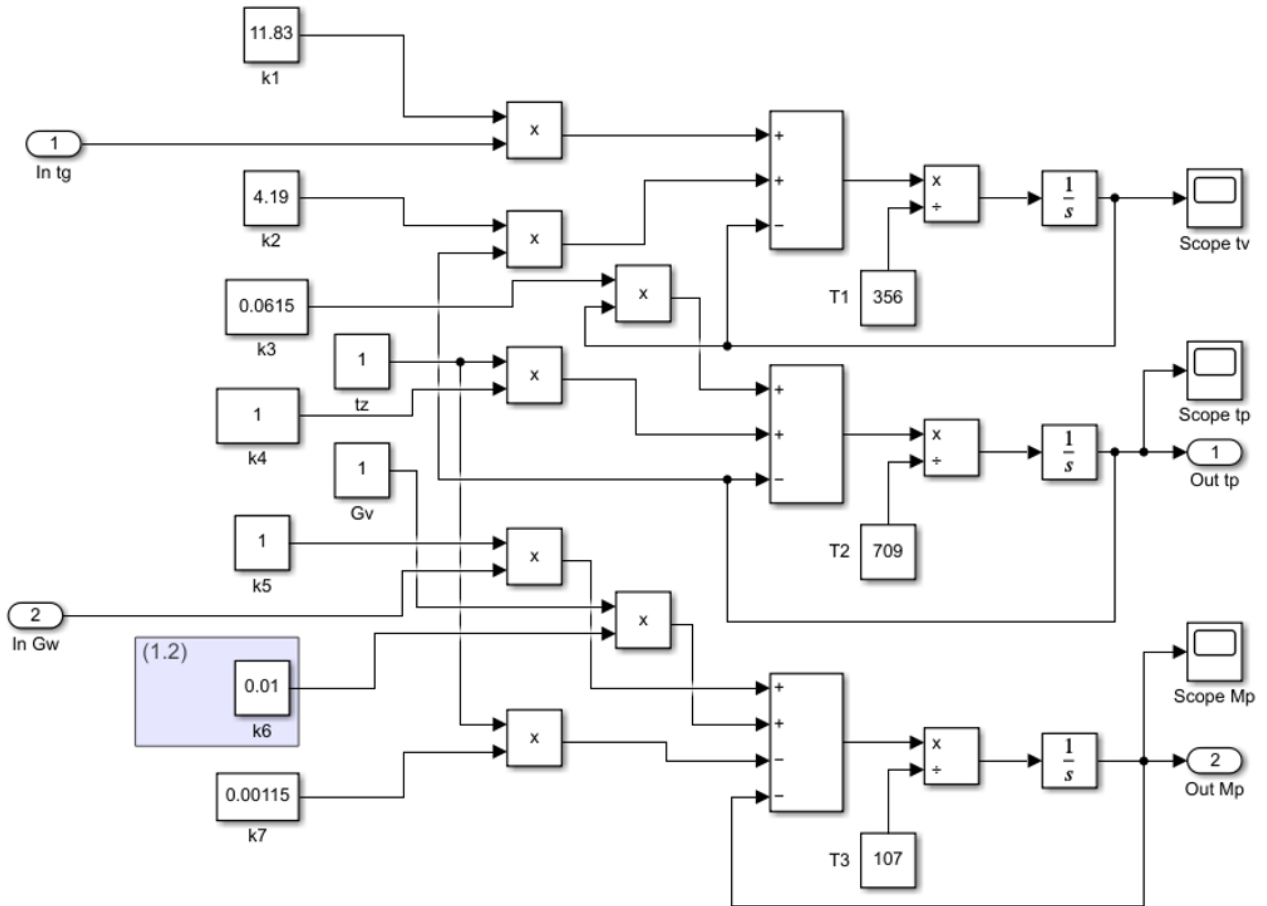


Рисунок 4.7 - Функціональна схема математичної моделі об'єкта

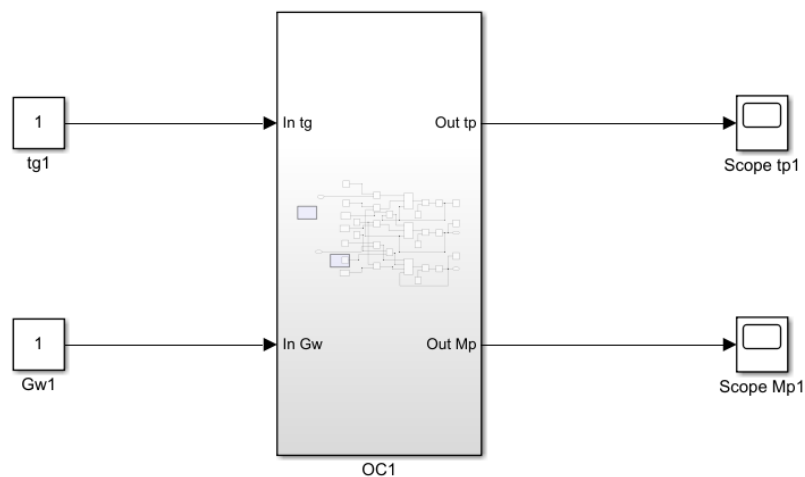


Рисунок 4.8 – Схема тестування математичної моделі об'єкта керування

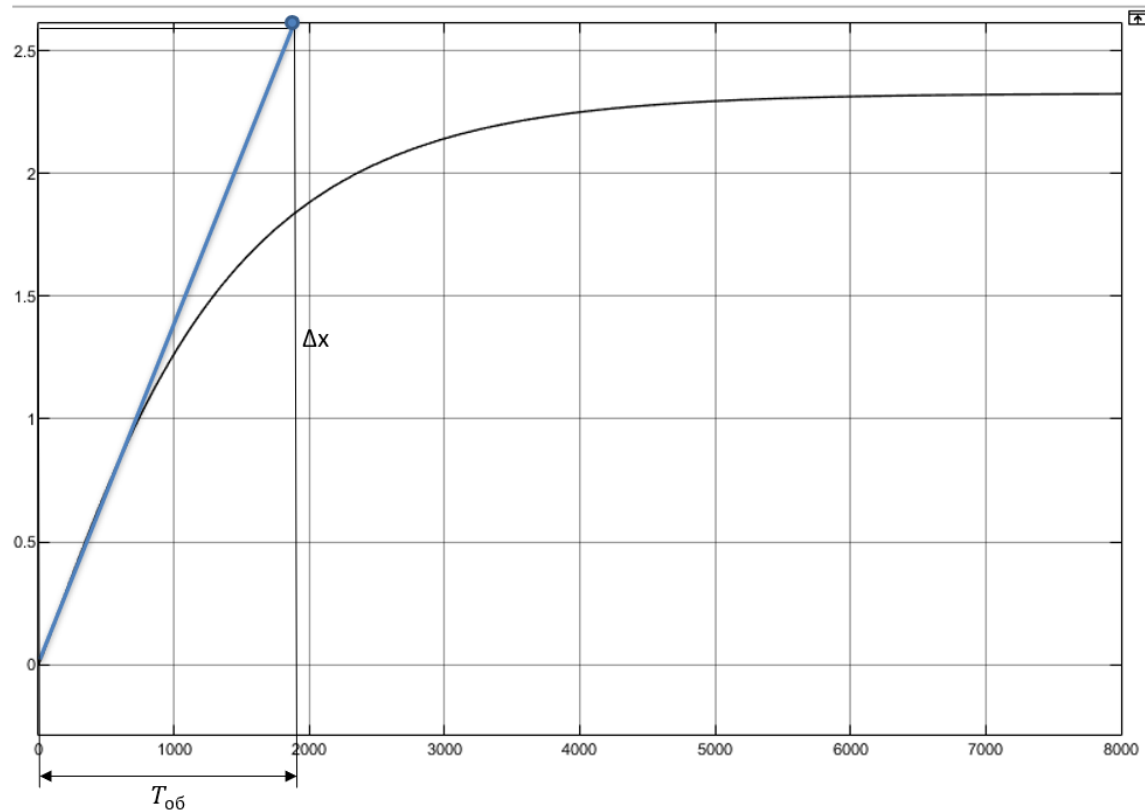


Рисунок 4.8 - Крива розгону об'єкта по каналу регулювання температури в теплиці

Беручи до уваги, що величина вхідного стрибкоподібного сигналу становить 1, ми визначимо динамічні характеристики об'єкта за каналом регулювання температури в теплиці (зображено на рис. 4.8):

$$\tau_{зп} = 0\text{с}, T_{об} = 1900\text{с}, \kappa_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{2.4}{1} = 2.4$$

$$W_{oy(t)}(s) = \frac{2.4}{1900s + 1}$$

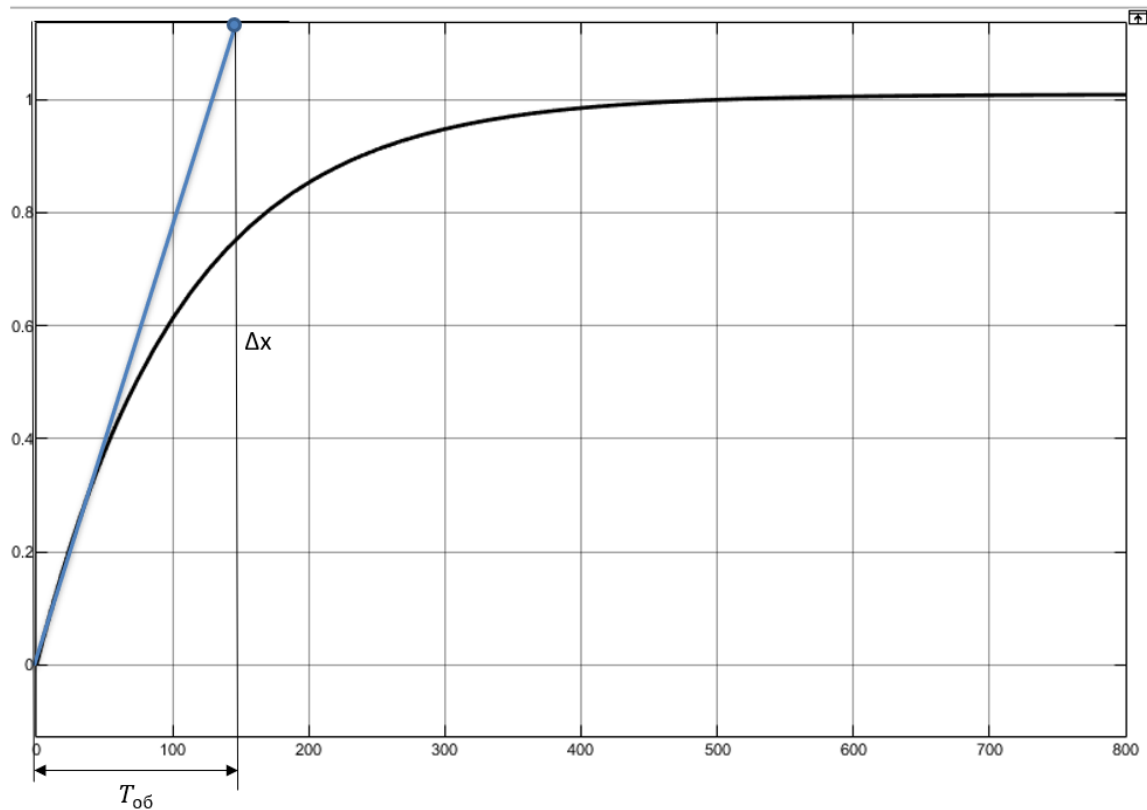


Рисунок 4.9 - Крива розгону об'єкта по каналу регулювання вологості в теплиці

З урахуванням того, що вхідний сигнал у вигляді стрибка має значення 1, ми можемо визначити динамічні характеристики об'єкта по каналу керування вологості в теплиці (зображено на рис. 4.9):

$$\tau_{зп} = 0\text{с}, T_{об} = 150\text{с}, k_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{1.02}{1} = 1.02$$

$$W_{Oy(t)}(s) = \frac{1.02}{150s + 1}$$

4.6 Створення функціонально-структурних схем САК

Функціональна схема системи автоматичного керування (САК) відображає функціональні елементи системи та зв'язки між ними. На схемі функціональні елементи позначаються у вигляді прямокутників з буквеними позначеннями, які коротко вказують на назву елемента. Зв'язки між елементами показуються лініями, а їх напрямок вказується стрілками.

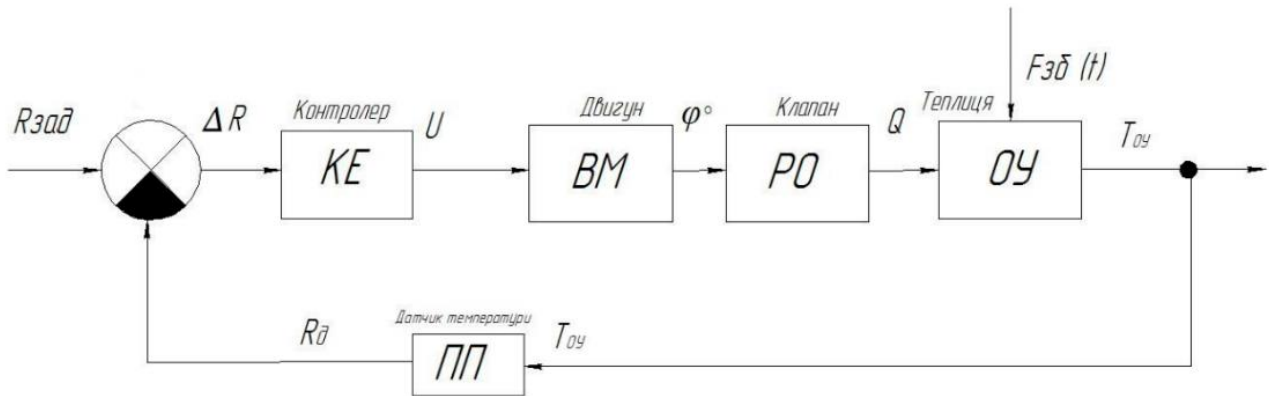


Рисунок 4.10 - Функціонально-структурна схема САК для контролю та регулювання температури в теплиці

На функціональній схемі САК зображені такі основні елементи:

$R_{зад}$ - задане значення температури;

$\Delta R = R_{зад} - R_{д}$; (перерегульований сигнал)

KE - керуючий елемент (контролер);

U - напруга керування;

BM - виконавчий механізм (двигун);

φ° - кут повороту

PO - регулюючий орган (клапан);

OU - об'єкт управління (теплиця);

$F_{зб}$ - збурююча дія на OU .

$ПП$ - первинний перетворювач (датчик температури $BME-280$);

T_{ou} - температура повітря в теплиці;

$R_{д}$ - значення температури що вимірюється;

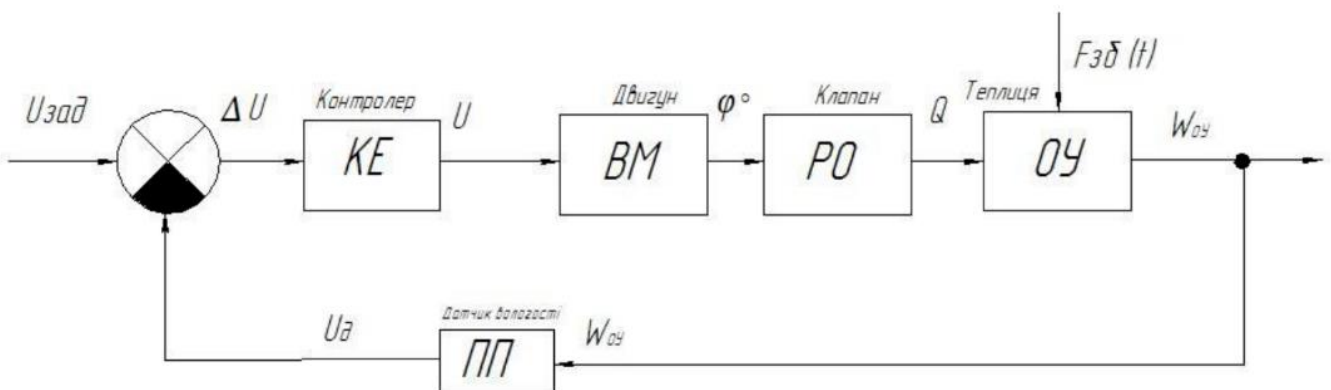


Рисунок 4.11 - Функціонально-структурна схема САК для контролю та регулювання вологи в теплиці

На функціональній схемі САК зображені такі основні елементи:

$U_{зад}$ - задане значення вологості;

$\Delta U = U_{зад} - U\delta$; (перерегульований сигнал)

KE - керуючий елемент (контролер);

U - напруга керування;

BM - виконавчий механізм (двигун);

φ° - кут повороту

PO - регулюючий орган (клапан);

OY - об'єкт управління (теплиця);

$Fзб$ - збурююча дія на OY .

$ПП$ - первинний перетворювач (датчик температури $BME-280$);

W_{oy} - волога повітря в теплиці;

$U\delta$ - значення вологи що вимірюється;

Структурна схема САК відображає динамічні характеристики функціональних елементів системи, яка описує математичну модель процесу управління. Вона демонструє складові системи та їх взаємозв'язки згідно з типовими динамічними ланками.

Структурну алгоритмічну схему САК розробляють на основі функціональної схеми та передаточних функцій окремих елементів системи. Елементи системи, які вже присутні на функціональній схемі, зображуються у вигляді прямокутників, а зв'язки між ними показуються у вигляді ліній зі стрілками, відповідно до напрямку сигналу.

У графічному зображенні елементів системи записують їх передаточні функції. Аналізуючи поставлену задачу та передаточні функції окремих ланок, ми отримуємо передаточні функції для елементів системи:

1) Передаточна функція об'єкту керування для регулювання температури та вологості:

$$W_{oy(t)}(s) = \frac{2.4}{1900s + 1}$$

$$W_{Oy(w)}(s) = \frac{1.02}{150s + 1}$$

2) Передаточна функція датчику температури і вологи:

$$W_t(s) = \frac{0.21}{15s + 1}$$

$$W_t(s) = \frac{0.21}{15s + 1}$$

3) Передаточна функція виконавчого механізму:

$$W_{BM}(s) = \frac{18.182}{210s + 1}$$

4) Передаточна функція регулюючого органу:

$$W_{po}(s) = \frac{0.038}{s}$$

5) Роль передаточної функції регулятора для об'єкту керування в нашому випадку виконує автоматично налаштовані під виконавчі та регулюючі елементи з датчиками (за допомогою пакету MATLAB Simulink) ПІД регулятори:

$$W_{pid(t)}(s) = 0.000631 + 6.445025e - 08 \frac{1}{s} + 1.0560440 \frac{0.009736}{1 + 0.009736 \frac{1}{s}}$$

$$W_{pid(w)}(s) = 0.006052 + 2.231104e - 06 \frac{1}{s} + 2.090055 \frac{0.519818}{1 + 0.519818 \frac{1}{s}}$$

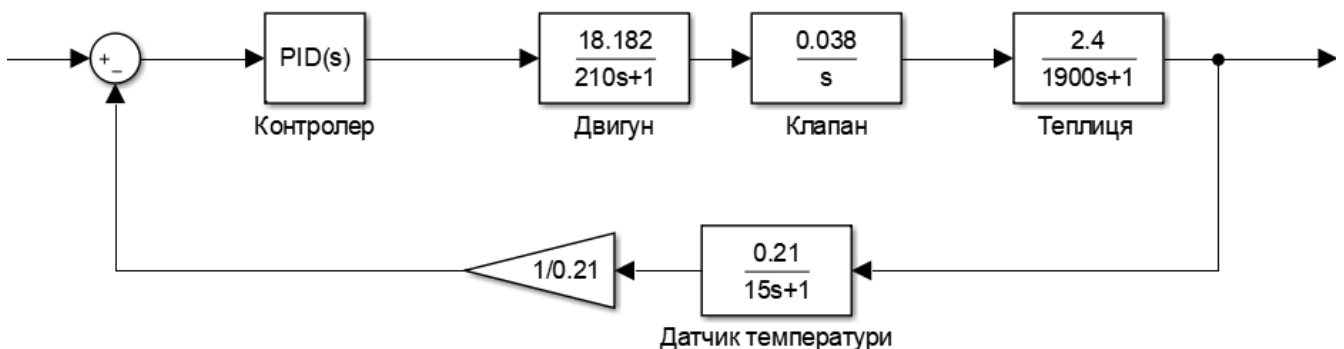


Рисунок 4.12 – Функціональна схема САК каналу регулювання температури в теплиці

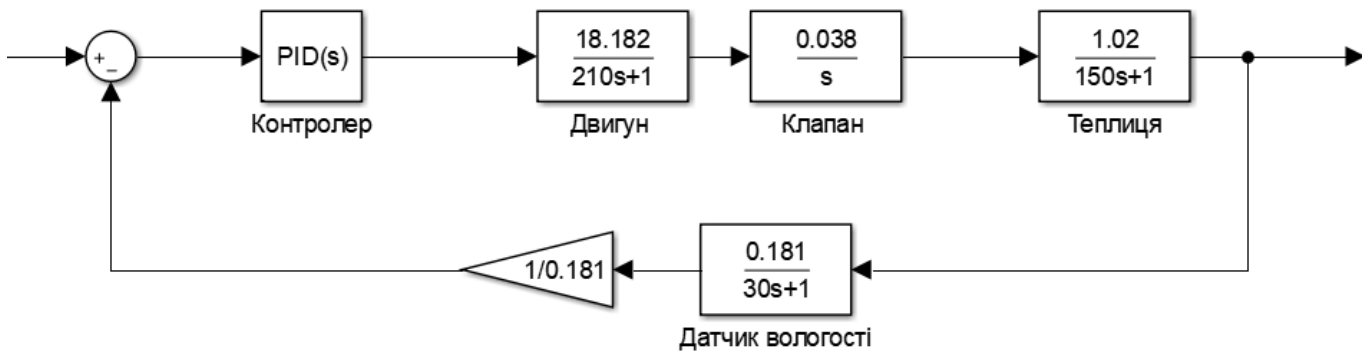


Рисунок 4.13 – Функціональна схема САК каналу регулювання вологи в теплиці

4.7 Аналіз стійкості функціональних моделей

Основна проблема, що розглядається в аналізі системи керування, полягає у її стійкості. У більшості випадків, система, яка не є стійкою, не може працювати належним чином. Стійка система повертається до початкового стану після обмеженого збурення. Для досягнення стійкості лінійної системи необхідно і достатньо, щоб всі корені характеристичного поліному знаходилися ліворуч від мнімої осі на комплексній площині коренів. Отже, мніма ось комплексної площини є межею стійкості. Якщо принаймні один дійсний корінь або пара комплексно спряжених коренів знаходяться праворуч від мнімої осі, то система є нестійкою. Якщо є нульовий корінь або пара чисто уявних коренів, то система вважається нейтральною (тобто перебуває на межі стійкості). Існують правила або критерії, які дозволяють визначити, чи знаходяться всі корені характеристичного рівняння ліворуч від мнімої осі без розв'язування самого характеристичного рівняння. Ці критерії можуть бути алгебраїчними (наприклад, критерій Рауса, Гурвіца) або частотними (наприклад, критерій Найквіста, Нікольса і т.д.). MATLAB надає широкі можливості для аналізу стійкості систем автоматичного керування. В нашому випадку будемо використовувати критерій Найквіста для обох каналів.

Структура передаточних функцій системи автоматичного керування мікрокліматом в теплиці може бути описана наступним чином.

Для каналу регулювання температури передаточна функція розімкненої системи має вигляд:

$$W_{\text{роз}(t)}(s) = W_{\text{під}(t)}(s) * W_{\text{ВМ}}(s) * W_{\text{РО}}(s) * W_{\text{ОК}(t)}(s) * W_{\text{СЕ}(t)}(s)$$

Для каналу регулювання вологості передаточна функція розімкненої системи має вигляд:

$$W_{\text{роз}(w)}(s) = W_{\text{під}(w)}(s) * W_{\text{ВМ}}(s) * W_{\text{РО}}(s) * W_{\text{ОК}(w)}(s) * W_{\text{СЕ}(w)}(s)$$

Для аналізу системи та побудови амплітудно-фазової характеристики (АФЧХ) можна скористатись пакетом прикладних програм "MatLab". Структурна схема програми "MatLab" надає можливість візуального представлення системи та обчислення АФЧХ.



Рисунок 4.12 - Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання температури

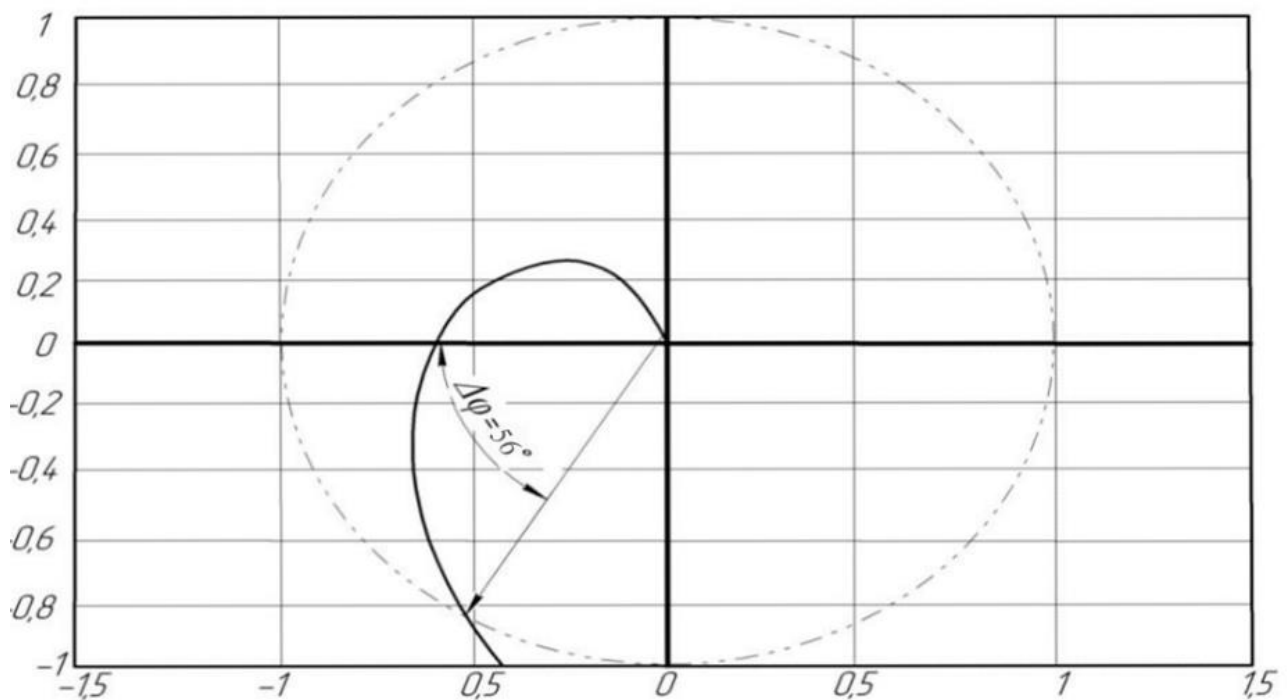


Рисунок 4.13 - Годограф Найквіста по каналу регулювання температури

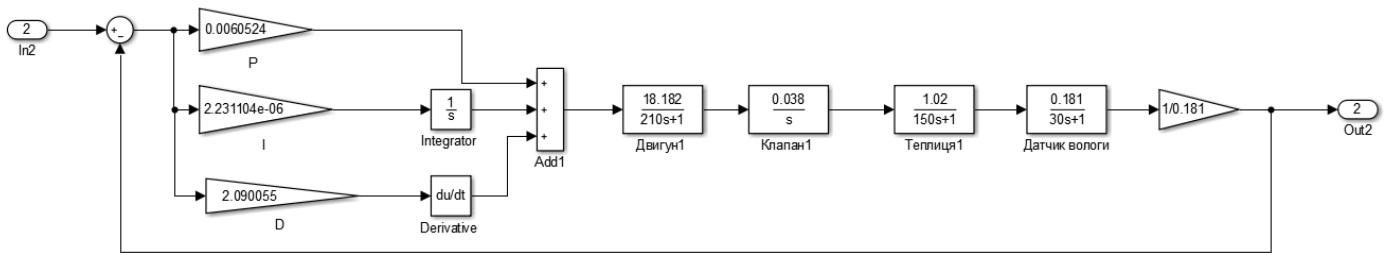


Рисунок 4.14 - Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання температури

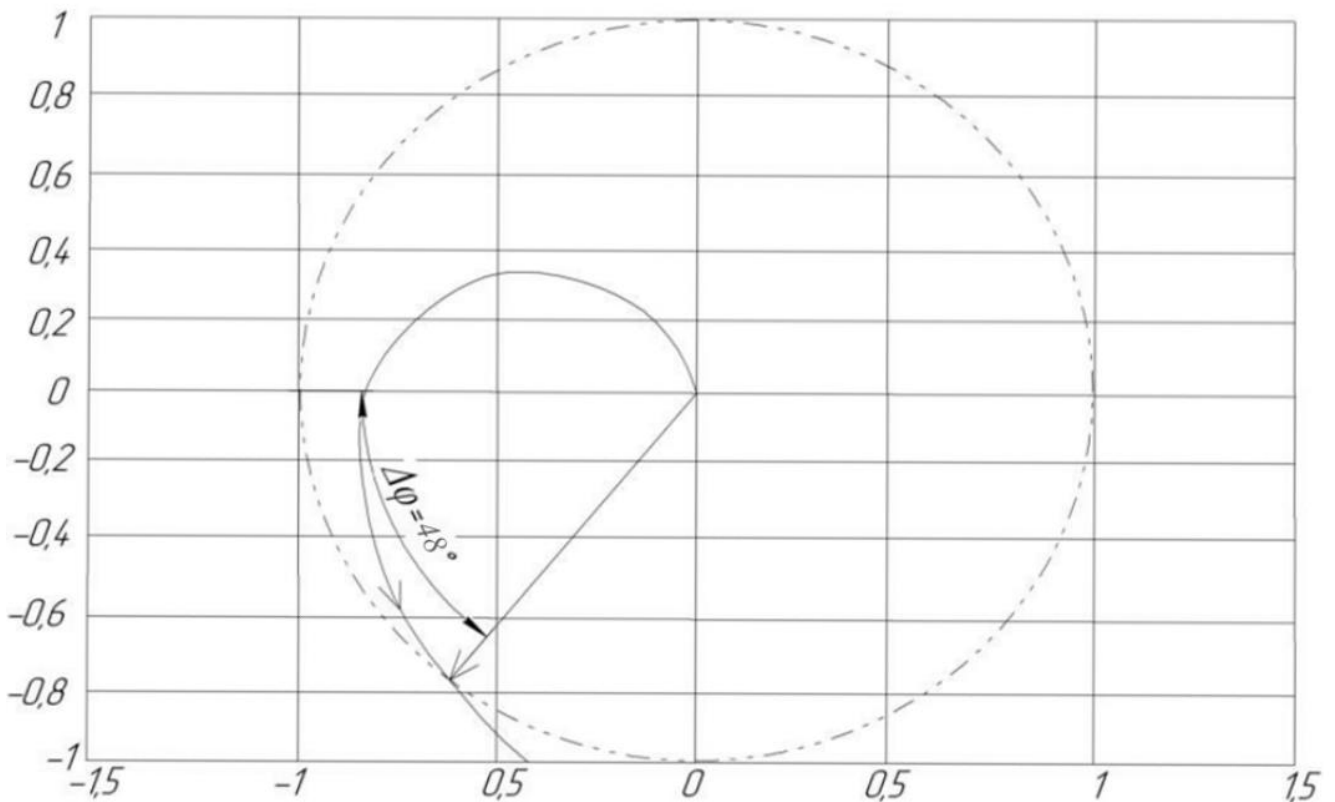


Рисунок 4.15 - Годограф Найквіста по каналу регулювання температури

При аналізі годографів Найквіста в обох каналах регулювання виявляється, що при зміні частоти від 0 до ∞ , годограф не проходить через точку з координатами $(-1; 0)$. Це в свою чергу свідчить про те, що система автоматичного регулювання є стійкою. Запас стійкості за амплітудою по температурі автоматично визначається програмою і складає 21 дБ, а запас стійкості за амплітудою по вологості складає 18 дБ. Запас по фазі ($\Delta\varphi_t$) визначається графічним методом і складає 56° , а запас по фазі ($\Delta\varphi_w$) складає 48° .

4.8 Аналіз якості функціональних моделей

Тепличне приміщення є об'єктом управління, де температура підтримується в заданих межах шляхом постачання тепла від систем опалення. Інтенсивність опалення, регулюється залежно від сигналу, що надходить з контролера. У разі зміни температури в теплиці та дихання рослин, відносна вологість повітря може не відповідати агротехнічним нормам для даного виду та віку рослин. У такому випадку вологість повітря може бути зменшена шляхом вентиляції або збільшена шляхом поливу та розпилення води у вигляді "туману". Зовнішнє повітря, відкриті двері, незадовільна герметичність конструкції та інші фактори виступають як збурюючі дії.

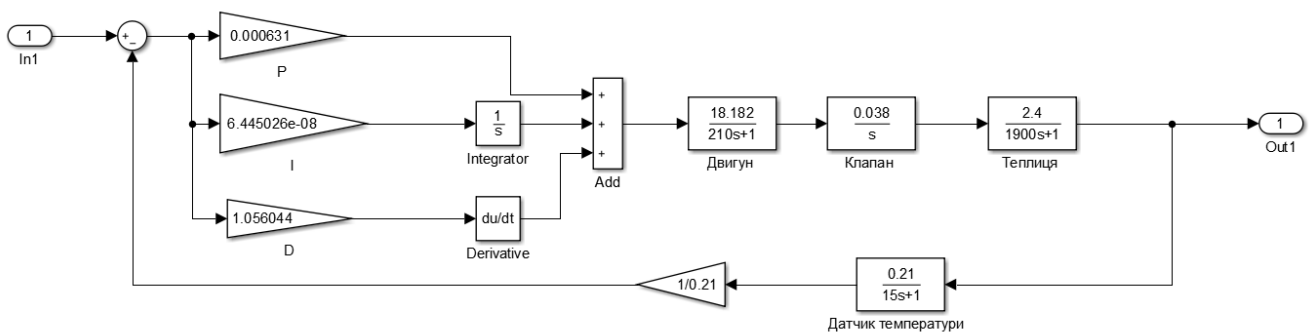


Рисунок 4.16 – Структурна схема для побудови перехідного процесу керування температурою в теплиці

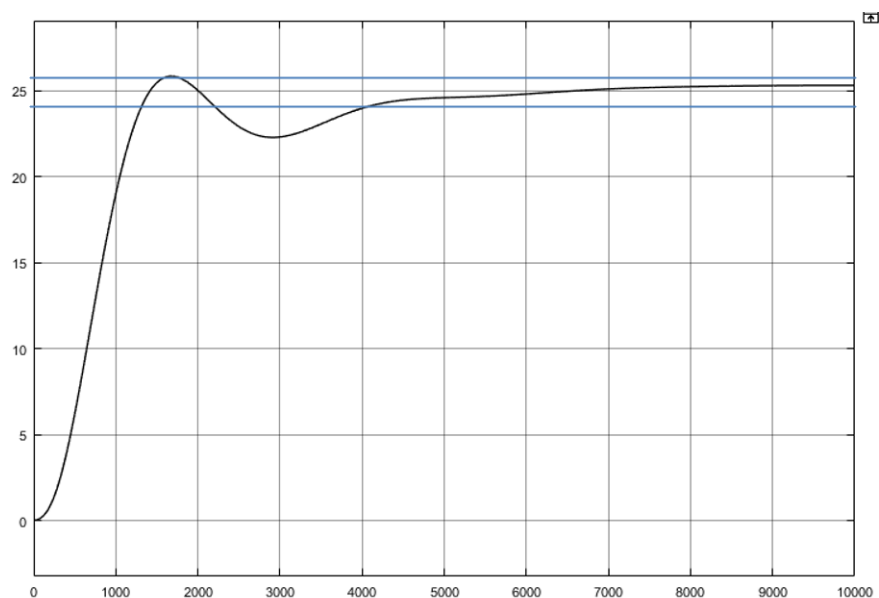


Рисунок 4.17 – Перехідний процес керування температурою в теплиці

Аналізуючи побудований графік перехідного процесу в системі автоматичного керування (САК) температури, можна зробити такі висновки: час регулювання системи t_p дорівнює 4000 секундам, кількість напівхвиль n становить 3, в системі відсутня статична похибка, а перерегулювання не перевищує 20% і складась:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} * 100\% = \frac{26 - 25}{25} * 100\% = 4\%$$

ВИМОГАМ.

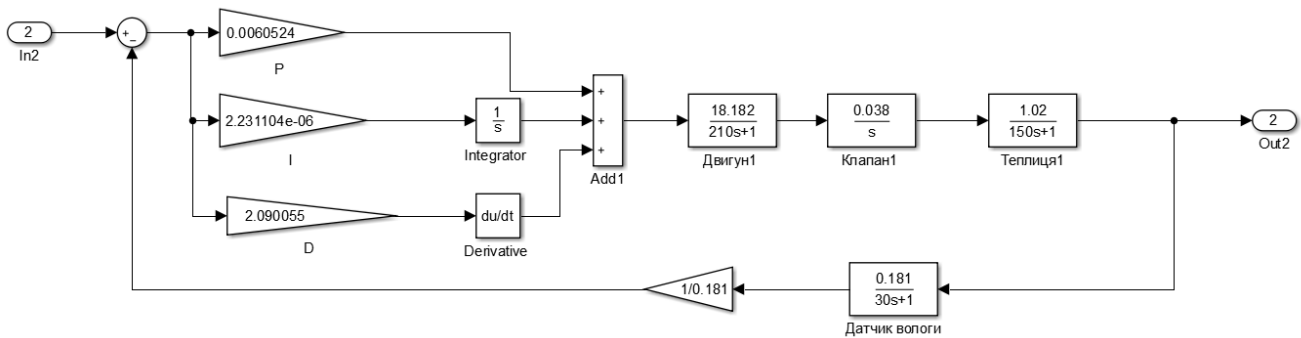


Рисунок 4.18 – Структурна схема для побудови перехідного процесу керування вологістю в теплиці

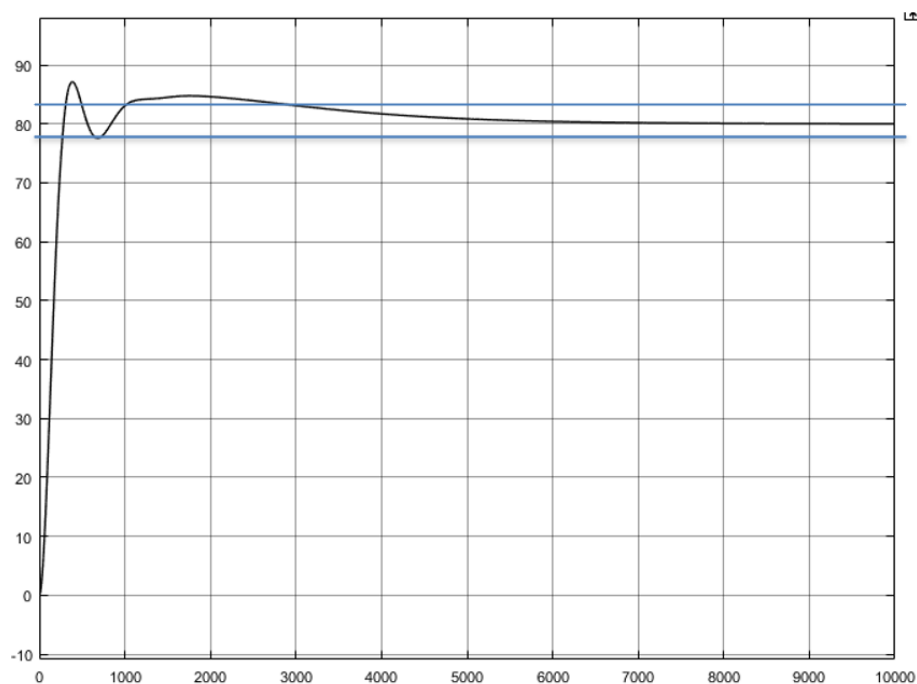


Рисунок 4.19 – Перехідний процес керування вологістю в теплиці

Аналізуючи побудований графік перехідного процесу в системі автоматичного керування (САК) вологості, можна зробити такі висновки: час регулювання системи t_p дорівнює 3000 секундам, кількість напівхвиль n становить

4, в системі відсутня статична похибка, а перерегулювання не перевищує 20% і складає: $\sigma = \frac{y_{max} - y_{(\infty)}}{y_{(\infty)}} * 100\% = \frac{87 - 80}{80} * 100\% = 8,8\%$ що задовольняє

технологічним вимогам.

Висновки до четвертого розділу

В ході роботи проведений загальний огляд різних можливих методів та законів керування, спрямованих на відслідковування та зміну показників в заданий час у мікропроцесорних системах. В роботі був обраний метод керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту - метод ПІД (пропорційно-інтегрально-диференційний), який був застосований для досягнення бажаних показників управління.

Також проаналізовані недоліки та переваги обраного методу керування мікрокліматом у спорудах захищеного ґрунту, відображені його можливі обмеження та можливості. Створено математичну модель технологічного процесу, проведена оцінка статичних та динамічних характеристик, а також визначена передаточна функція для об'єкта управління мікрокліматом у теплиці. Проведено дослідження моделі, включаючи аналіз різних параметрів та виконання перехідних процесів, що дозволило зрозуміти поведінку системи у різних умовах.

Застосувавши створену математичну модель, були розроблені функціонально-структурні схеми системи автоматичного керування (САК), які відображають взаємодію компонентів системи.

Проведено аналіз стійкості моделі. Здійснено аналіз якості моделі, включаючи оцінку точності, швидкодії та стійкості системи управління мікрокліматом в теплиці.

В цілому, цей розділ допоміг детально вивчити та проаналізувати різні аспекти керування мікрокліматом у спорудах захищеного ґрунту, включаючи вибір методу, створення моделі, дослідження та оцінку її якості.

5. УРАХУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТАХ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

5.1 Загальні вимоги з питань охорони праці на сільськогосподарських об'єктах захищеного ґрунту

Основні загальні вимоги з питань охорони праці, що поширюються на всі об'єкти захищеного ґрунту системи Міністерства сільського господарства України, наведено в документах (НАОП 2.1.10-2.11-81. ОСТ 46.3.1.115-81. Та НАОП 2.2.00-2.06-82. ОСТ 46.3.1.123-82).

При проведенні робіт в теплицях необхідно враховувати такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

– фізичні – небезпечний рівень напруги в електричній мережі, підвищена (до 100%) вологість повітря і його знижена рухливість, рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання, висока (понад + 45 ° С) температура поверхонь технологічного обладнання, знижена (Менше + 10 ° С) і підвищена (понад + 25 ° С) температура повітря, падаюче і розбите скло, відкриті колодязі підземних комунікацій, різка зміна барометричного тиску (вибух), підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищені яскравість світла і рівень ультрафіолетової радіації при штучному опроміненні та освітленні рослин;

– хімічні пестициди, мінеральні добрива та продукти їх розпаду в повітрі та ґрунті, на рослинах, обладнанні і будівельних конструкціях; підвищена загазованість повітряного середовища при роботі двигунів внутрішнього згорання і в процесі підживлення рослин вуглекислим газом;

– біологічні – мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби) і комахи, вплив яких на працівників здатне викликати захворювання;

– психофізіологічні – фізичні та нервово-психічні перевантаження, пов'язані з динамікою і монотонністю праці.

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів повинні відповідати відповідним стандартам, нормам технологічного проектування та гігієнічним нормативам:

– по шуму – ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007, санітарним нормам допустимих рівнів шуму на робочих місцях ДСН 3.3.6.037-99

– по вібрації – Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99

– по освітленню - ДБН В.2.5-28:201Х;

– по мікрокліматичним параметрам - ДСН 3.3.6.042-99;

– по концентрації шкідливих речовин при використанні пестицидів в захищеному ґрунті – «Списку хімічних і біологічних засобів боротьби з шкідниками, хворобами рослин і бур'янами та регуляторів росту рослин, дозволених для застосування в сільському господарстві ».

Планування, організація та проведення робіт в теплицях повинні передбачати:

– контроль за безпекою виконання робіт і відповідальність за її порушення;

– раціональний вибір і розміщення виробничого обладнання і організацію робочих місць;

– дотримання технологічних регламентів, режимів праці, порядку обслуговування обладнання;

– навчання та дотримання вимог професійної відповідності при допуск до виконання виробничих операцій, автоматизацію і механізацію виробничих процесів, застосування пристроїв дистанційного контролю і управління;

– усунення безпосереднього контакту працівників з шкідливими речовинами і ліквідацію небезпечних факторів;

– застосування засобів колективного та індивідуального захисту;

– раціональну організацію праці і відпочинку.

Тепличні комбінати, теплиці, проектують і експлуатують з урахуванням вимог та нормативних документів з охорони навколишнього середовища і природних ресурсів: ДБН В2.2-2-95 "Державних санітарних правил і норм з улаштування та експлуатації теплиць і тепличних комбінатів »№ 5791-91.

Виробничі та господарсько-побутові стоки підлягають обов'язковому знешкодженню відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.7. 029-99 з подальшим випуском стоків у централізовану або місцеву каналізацію. Відходи виробництва, рослинні залишки, відпрацьований ґрунт і ґрунтовий субстрат, що прийшли в непридатність агрохімікати і тара з-під них після знешкодження піддаються утилізації відповідно до «Санітарних правил порядку накопичення, транспортування, знешкодження і поховання токсичних промислових відходів» № 3183-84, розробленої на їх основі «Інструкцією по збору, підготовці і відправці прийшли в непридатність і заборонених до застосування в сільському господарстві пестицидів і тари з-під них», затверджених ВПНО «Укрсельхозхімія» 12.04.85 та ДСанПіН 2.2.7. 029-99

При виконанні всіх видів робіт необхідно керуватися «Правилами пожежної безпеки в Україні» зареєстровані в Міністерстві юстиції України 29 березня 2019 р. за N 328/33299

На основі цих Правил повинні бути переглянуті або розроблені знову і затверджені керівником підприємства інструкції з охорони праці, технологічні та експлуатаційні документи на відповідні процеси (роботи).

Крім того існують відповідні вимоги до територій виробничих приміщень і майданчиків, які указані в документах, і зводяться до таких основних положень:

- територія теплиць та тепличних комбінатів повинна бути огорожена парканом і мати розміри, що забезпечують оптимальне розміщення всіх основних і допоміжних будівель і споруд, виконаних відповідно до вимог ДБН В2.2-2-95;

- небезпечні зони повинні бути огорожені і позначені знаками безпеки по ГОСТ 12.4.026. При відсутності знаків безпеки організовується охорона небезпечних зон.

- на території розміщення великих тепличних комбінатів та в господарстві, необхідно передбачити окремі, обладнані навісами, технічним водопроводом і каналізацією споруди для наступних цілей:

- приміщення для тимчасового зберігання пестицидів і біопрепаратів;

- майданчик і приміщення для приготування робочих сумішей пестицидів і мінеральних добрив з ґрунтовим ґрунтом;

- майданчики для базування, дезактивації і санітарної обробки машин, агрегатів та іншої техніки, яка використовується при хімічної обробці рослин;
- майданчик для розміщення поливальних машин;
- приміщення для зберігання знешкоджувальних засобів і апаратури;
- майданчик для знешкодження тари і знищення рослинних залишків;
- приміщення та майданчики для розміщення очисних споруд;
- побутові приміщення.

Для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних нормативів і відповідно до Норм технологічного проектування та ДБН на території теплиць та тепличних комплексів необхідно мати:

- достатню освітленість транспортних під'їздів, проходів, майданчиків, сполучних коридорів;
- вільний і безпечний проїзд і місця для маневрування штатних видів транспорту;
- пішохідні доріжки, проходи і переходи, виконані відповідно до вимог;
- системи для відведення з території стічних, паводкових, дренажних і зливових вод.

Природне і штучне освітлення виробничих і допоміжних приміщень, будівель, споруд та майданчиків слід виконувати згідно з ОНТП-СХЛЮ-85, галузевим вимогам до висвітлення сільськогосподарських підприємств і правилам улаштування електроустановок.

Приміщення для зберігання пестицидів повинні бути виконані відповідно до Правил прийому, зберігання та відпуску пестицидів на складах об'єднань «Сільгоспхімія». М, Агропромиздат, 1985.

Спеціальні приміщення для приготування робочих сумішей пестицидів і розчинів мінеральних добрив оснащують витяжною вентиляцією.

Майданчики для обробки тари, інвентарю, спецодягу та засобів індивідуального захисту повинні відповідати вимогам Санітарних норм, та не розташовуватися під лініями електропередачі.

Приміщення для приготування робочих сумішей пестицидів і мінеральних добрив, майданчики для знешкодження тари, інвентарю, спецодягу та засобів індивідуального захисту повинні бути забезпечені необхідними миючими і нейтралізують засобами, медичними аптечками.

Майданчики для складування тари, зберігання інвентарю, базування машин, механізмів, агрегатів повинні оснащуватися необхідними засобами пожежної безпеки згідно з вимогами ДСНС від 29.05.2013 N 358. 6

Санітарно-побутові та допоміжні приміщення слід розміщувати в місцях з найменшим впливом шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Склад санітарно-побутових і спеціальних приміщень визначається вимогами ОНТП-СХ.10-85 і СанПіН № 5791-91.

У санітарно-побутовий блок великих тепличних комплексів повинні входити такі приміщення: гардеробна, душова, умивальна, вбиральня, приміщення особистої гігієни жінок, пральня, дезінфекційна, кімната відпочинку, пункт харчування (їдальня, буфет або кімната для прийняття їжі).

5.2 Вимоги безпеки до виробничого устаткування і організації робочих місць

Всі види робіт на підприємствах закритого ґрунту слід проводити на справних машинах та механізмах відповідно до ГОСТ 12.2.013, ГОСТ 12.2.019.

Технологічне обладнання і засоби механізації слід вибирати, як правило, серійного виробництва або підготовлені до серійного виробництва, з урахуванням вимог безпеки та ергономіки стосовно до виробничого процесу підприємства закритого ґрунту.

При розміщенні і компонуванні технологічного обладнання повинні задовольнятися вимоги ОНТП-СХ.10-85 і СанПіН №5791-91.

Підйомно - транспортне обладнання слід фарбувати насиченими фарбами червоного або жовтого сигнального кольору. Небезпечні щодо травматизму рухомих частин машин і механізмів фарбуються в червоний або помаранчевий сигнальні кольори відповідно до ГОСТ 12.4.026.

3.5. Кнопкові пульти і рукоятки управління повинні мати відповідні написи («пуск», «стоп», «відкрито», «закрито») і фарбуватися згідно з вимогами ГОСТ 12.4.026.

Поверхні конструктивних елементів теплиць і технологічного обладнання необхідно фарбувати в сигнальні кольори, згідно ГОСТ 12.4.026, закладати захисними покриттями з урахуванням технічної естетики (РД 50-418-83) і для запобігання від корозії (СНиП 2.03.11-85).

Для ремонту і обслуговування технологічного устаткування в теплицях, а також для очищення стекол з внутрішньої і зовнішньої сторони повинні використовуватися спеціальні механізми, пристрої та пристосування, виконані відповідно до ГОСТ 12.3.002 та СНиП Ш-4-80.

Розташовані в теплицях комунікації, запірна арматура, насоси та ємності повинні бути герметичними; конструкції та матеріали, з яких вони виготовлені, повинні забезпечувати можливість їх багаторазового промивання дезактивуючими і дезінфікуючими розчинами.

Доставка, дозування і завантаження необхідних компонентів для приготування поживних розчинів в гідропонних теплицях, особливо концентрованих кислот і лугів, повинні здійснюватися механізованим способом з використанням засобів колективного та індивідуального захисту ЗЛЮ.

При збиранні врожаю і транспортуванні його в складські приміщення необхідно застосовувати засоби малої механізації: підвісні транспортерні лінії і дороги, стрічкові транспортери, електротельфери, що пересуваються по пригрунтовому реєстрі візки, мають справні гальма.

Конструктивні елементи обладнання робочого місця, зон обслуговування і органів управління повинні забезпечувати обслуговуючому персоналу вільний прохід, доступ, зручні і безпечні дії при виконанні трудових операцій і відповідати вимогам ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.4.040 і РД 50-418-83 до організації робочого місця.

Операторські з пультами управління повинні бути обладнані з урахуванням ергономічних вимог до системи «людина - машина - виробниче середовище».

Умови праці в операторських повинні відповідати ГОСТ 12.1.003, ГОСТ 12.1.005 і СНиП І - 79.

При виробництві всіх видів робіт забороняється:

- ходити босоніж і у взутті на м'якій підошві;
- наступати на парникові рами і короба;
- проводити всі види робіт при включених електронагрівальних елементах обігріву ґрунту;
- доторкатися до струмоведучих частин технологічного обладнання;
- проводити роботи на несправному обладнанні і при виявленій витокі газу.

Згідно постанови Міністерства праці та соціальної політики України та Департаменту по нагляду за охороною праці України (Держнаглядохоронпраці) були розроблені Державний нормативний акт про охорону праці, який затверджений Наказом Мінпраці України 20.04.2001 № 184

5.3 Вимоги пожежної безпеки до територій, будівель, приміщень, споруд

Утримання територій

Територія теплиці повинна постійно триматися в чистоті, своєчасно прибиратися від горючих відходів та сміття.

Відходи пально-мастильних матеріалів, обтиральне шмаття наприкінці кожної зміни потрібно прибирати у спеціально відведені місця, додержуючись заходів пожежної безпеки.

Забороняється захаращувати матеріалами, конструкціями та обладнанням дороги і проїзди навколо будинків та споруд.

Протипожежні розриви між будинками та спорудами не дозволяється використовувати для складування грубих кормів, матеріалів та обладнання, для стоянки автотранспорту, тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки.

Будівництво на території теплиць нових споруд (у тому числі тимчасових) може виконуватись тільки за наявності проектної документації, яка пройшла в установленому порядку експертизу в органах державного пожежного нагляду.

Між будівлями і спорудами повинні бути відповідні протипожежні розриви згідно з вимогами будівельних норм.

Не допускається спорудження складів пально-мастильних матеріалів (далі - ПММ), у тому числі тимчасових, на території виробничої зони підприємства.

Забороняється залишати на відкритих площадках тару з легкозаймистими та горючими рідинами, а також балони із стисненими і зрідженими газами, ацетиленові генератори із залишками невідпрацьованого карбїду кальцію або карбїдного мулу.

Забороняється стоянка автотранспорту в наскрізних проїздах будинків, на відстані менше ніж 10 м від в'їзних воріт на територію об'єктів, менше ніж за 5 метрів від пожежних гідрантів, забірних пристроїв вододжерел, пожежного обладнання та інвентарю, на площадках для розвертання транспортних засобів, тупикових проїздів.

Користуватись відкритим вогнем на території дозволяється тільки у спеціально відведених місцях відповідно до встановленого протипожежного режиму.

Проїзди та під'їзди до будинків, споруд і джерел протипожежного водопостачання підприємств мають забезпечувати безперервний та безпечний рух транспорту за будь-якої пори року та мати електричне освітлення темної пори доби.

Відповідальні особи повинні постійно наглядати за технічним станом проїздів та під'їздів до будинків, споруд, протипожежних джерел водопостачання і організувати своєчасне проведення на них ремонтних робіт.

На території теплиць потрібно регулярно скошувати і вивозити траву.

Спалювати сміття і горючі відходи на території підприємства дозволяється на відстані не ближче 15 м від будинків та споруд у спеціально відведених місцях, а також у межах, установлених будівельними нормами протипожежних розривів.

У виробничих, адміністративних та допоміжних приміщеннях забороняється:

- захаращувати шляхи евакуації і сходові клітки обладнанням, матеріалами та іншими предметами;
- прибирати приміщення з використанням легкозаймистих та горючих рідин (речовин);
- залишати без нагляду електронагрівальні прилади, а після закінчення роботи залишати ввімкненими в електромережу апарати й установки, якщо це не передбачено технологічним процесом виробництва;
- оздоблювати стіни приміщень горючими матеріалами або тканинами без відповідної обробки вогнезахисними розчинами;
- відігрівати заморожені водяні труби паяльними лампами та іншими засобами із застосуванням відкритого вогню;
- використовувати горища, технічні поверхи, вентиляційні камери, електрощитові як виробничі приміщення, а також для зберігання матеріалів і обладнання;
- виконувати в приміщеннях і на обладнанні роботи, що не передбачені технологічним процесом виробництва.

У разі виникнення пожежі повинна бути забезпечена можливість безпечної евакуації людей, тварин і птиці з будинків та споруд об'єктів.

Двері на шляхах евакуації та виходів повинні відчинятися в напрямку виходу з будівлі. Влаштувати розсувні, підйомні та обертові двері на евакуаційних шляхах забороняється.

У сходових клітках будинків забороняється прокладення промислових газопроводів, трубопроводів з легкозаймистими та горючими рідинами, відкритих електричних кабелів, а також розміщення устаткування та обладнання, що перешкоджає евакуації людей.

Висота евакуаційних шляхів і виходів повинна становити не менше 2 м.

Кожне приміщення площею понад 300 кв.м, розташоване в підвальному або в напівпідвальному (цокольному) поверсі, повинно мати не менше ніж два евакуаційних виходи.

У підвальних приміщеннях (у тому числі з виходами в загальні сходові клітки будинків) забороняється застосовувати і зберігати вибухопожежонебезпечні речовини, балони з газом під тиском, а також речовини з підвищеним рівнем пожежної небезпеки.

Стаціонарні зовнішні пожежні сходи, огорожу на дахах будинків і споруд слід утримувати справними та пофарбованими.

Забороняється встановлювати глухі ґрати на віконних прорізах будинків і приміщень, у яких перебувають люди (за винятком кас, складів та інших спеціальних приміщень, де встановлення глухих ґрат допускається нормами і правилами, затвердженими в установленому порядку).

У разі потреби встановлення на вікнах ґрат їх потрібно робити розсувними або такими, які знімаються. На час перебування в цих приміщеннях людей ґрати мають бути відчинені.

Постійно утримувати у справному робочому стані засоби протипожежного захисту (установки пожежної сигналізації, пожежогасіння, системи протидимового захисту, системи повідомлення, засоби протипожежного водопостачання, протипожежні двері, клапани, інші захисні пристрої у протипожежних стінах, перегородках та перекриттях) приміщень, будинків і споруд.

Усі виробничі приміщення слід тримати чистими. У разі розливу легкозаймистої чи горючої рідини її слід негайно прибрати.

Усі виробничі та підсобні приміщення мають бути забезпечені сертифікованими в Україні первинними засобами гасіння пожежі.

Первинні засоби пожежогасіння, протипожежне обладнання та інвентар слід розміщувати на видних і легкодоступних місцях і утримувати їх справними і готовими до негайного використання.

Для всіх виробничих, складських або допоміжних приміщень чи будинків має бути визначено категорію приміщення щодо вибухопожежної, пожежної небезпеки та класу зон відповідно до вимог НАПБ Б.07.005-86 та ДНАОП 0.00-1.32-01 ([v0272203-01](#)), а також зроблено написи про категорію виробництв на вхідних дверях і на стінах будинку (додаток 2).

У кожному приміщенні повинна бути вивішена табличка, на якій вказано прізвище відповідального за пожежну безпеку, номер телефону найближчої пожежної частини, а також вміщена інструкція щодо основних вимог пожежної безпеки.

Протипожежні перешкоди

Для попередження поширення вогню в будинках і спорудах слід влаштовувати протипожежні перешкоди - стіни, перегородки, перекриття, конструкції яких повинні відповідати вимогам ДБН В.1.1-7-2002.

У місцях перетинання інженерними комунікаціями протипожежних перешкод та будівельних конструкцій з нормованими межами вогнестійкості слід застосовувати спеціальні ущільнювальні діафрагми, що запобігають поширенню вогню та забезпечують нормовану межу вогнестійкості протипожежних перешкод.

Для заповнення прорізів у протипожежних перешкодах застосовують протипожежні двері, ворота, вікна, люки, клапани, завіси (екрани).

У місцях прорізів можна також розташовувати протипожежні тамбур-шлюзи.

У каналах димове відведення та подавання повітря забороняється прокладати будь-які комунікації.

Не дозволяється встановлювати будь-які пристрої, що перешкоджають нормальному зачиненню протипожежних дверей, а також знімати пристрої для їх самозачинення.

На дверях також повинні бути ущільнювальні прокладки в притворах.

Стан протипожежних перешкод слід контролювати щороку, при цьому слід перевіряти:

- технічний стан;
- справність і герметичність протипожежних дверей, вікон, воріт, люків, тамбур-шлюзів;
- наявність шпарин та порушень герметичності у вузлах, стиках і місцях перетинання перешкод різними комунікаціями;
- справність і наявність автоматичних пристроїв, які в разі пожежі не допускають поширення вогню та продуктів горіння каналами, шахтами, трубопроводами.

Також ряд вимог пожежної безпеки відноситься до інженерного обладнання та електроустаткування.

Електричне освітлення і електрообладнання:

- електричні мережі та електрообладнання, які використовуються в теплицях, повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок ([v0272203-01](#)) (ДНАОП 0.00-1.32-01), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів ([z0093-98](#)) (ДНАОП 0.00-1.21-98) та інших нормативних документів;
- електрообладнання за своїм типом і виконанням (захистом) має відповідати класу зони за ДНАОП 0.00-1.32-01 ([v0272203-01](#)), характеристикам навколишнього середовища, категоріям і групам вибухопожежонебезпечних сумішей;
- електродвигуни, світлотехнічна продукція і комплектувальні вироби до неї та інше електрообладнання повинні відповідати чинним стандартам, технічним умовам, документації заводів-виробників, мати державний сертифікат відповідності, виданий в Українській державній системі сертифікації продукції (система УкрСЕПРО), згідно з Переліком продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні, затвердженим наказом Держспоживстандарту України від 01.02.2005 N 28 ([z0466-05](#)) та зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 04.05.2005 за N 466/10746;

– особа, відповідальна за протипожежний стан електроустановок (головний енергетик, головний механік або інженерно-технічний працівник відповідної кваліфікації), призначена наказом керівника, зобов'язана:

– забезпечити організацію та своєчасне проведення профілактичних оглядів і планово-попереджувальних ремонтів електрообладнання, апаратури та електромереж, а також своєчасно усувати порушення, які можуть призвести до пожежі;

– забезпечити правильність вибору та застосування кабелів, електропроводів, двигунів, світильників та іншого електрообладнання залежно від класу зон щодо вибухо- та пожежної небезпеки і умов навколишнього середовища;

– систематично контролювати справність апаратів захисту від струменів короткого замикання, перевантаження, внутрішньої та атмосферної перенапруги, а також від інших не нормальних режимів роботи;

– контролювати справність спеціальних установок і засобів, призначених для ліквідації загоряння та пожежі в електроустановках і кабельних приміщеннях;

– організувати навчання та інструктаж чергового персоналу з питань пожежної безпеки при експлуатації електроустановок;

– брати участь у розслідуванні виникнення пожеж від електроустановок, розробляти і здійснювати заходи щодо їх попередження.

– у разі потреби адміністрація підприємства повинна укласти із спеціалізованою організацією договір на планове технічне обслуговування електроустановок;

– черговий електрик (змінний електрик) повинен проводити планові, профілактичні огляди електрообладнання, перевіряти наявність та справність апаратів захисту і вживати негайних заходів з усунення порушень, які можуть призвести до пожежі;

Результати оглядів електроустановок, виявлені несправності та вжиті заходи фіксуються в оперативному або змінному журналі за підписом виконавця;

– усі несправності в електромережах і електроустановках, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, нагрівання ізоляції кабелів і проводів, відмову автоматичних систем управління і релейного захисту тощо, повинні негайно усуватися;

– несправні електромережі і електроустановки потрібно відключати до приведення їх у пожежобезпечний стан;

– світильники в приміщеннях мають бути встановлені на відстані не менше 0,5 м від горючих речовин, матеріалів та виробів;

– перевірка якості ізоляції кабелів, електропроводів, надійність з'єднань, захисного заземлення, режим роботи електродвигунів здійснюється електриками як зовнішнім оглядом, так і з допомогою приладів.

– заміри опору ізоляції проводів проводяться в установлені терміни.

– електроустановки повинні бути захищені апаратами захисту від струмів короткого замикання. Плавкі вставки запобіжників мають бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставить завод-виробник або електротехнічна лабораторія);

– забороняється застосування саморобних вставок (жучків);

– з'єднання, окінцювання та відгалуження жил електропроводів і кабелів для створення пожежобезпечних перехідних опорів слід проводити за допомогою опресовування, зварювання, паяння або спеціальних гвинтових та болтових затискачів;

– влаштування та експлуатація тимчасових електромереж не допускається. Винятком можуть бути виконані відповідно до вимог ПУЕ тимчасові ілюмінаційні установки та електропроводки, що живлять місця ведення будівельних і ремонтно-монтажних робіт;

– забороняється залишати на стінах чи підлозі неізольовані кінці проводів та кабелів після демонтажу обладнання, електроустановок, освітлювальної апаратури;

– у місцях, де можливе утворення статичної електрики, мають бути встановлені заземлювальні пристрої;

– забороняється прокладення повітряних ліній електропередач та зовнішніх електропроводок над покрівлями, навісами, паливозаправними пунктами, складами пально-мастильних матеріалів та інших легкозаймистих і горючих рідин (матеріалів);

– забороняється прокладання електричних проводів і кабелів транзитом через складські, виробничі та іншого призначення приміщення;

– повітряні лінії електропередач слід розміщувати на відстані не менше ніж півтори висоти опори від вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних виробничих і складських приміщень, установок, навісів і штабелів горючих матеріалів;

– установлення в приміщеннях маслонаповненого електрообладнання (трансформатори, вимикачі, кабельні лінії та ін.) має бути захищене стаціонарними або пересувними установками пожежогасіння;

– електричні машини з частинами, які іскрять за умовами роботи, слід розміщувати на відстані не менше ніж 1 м від горючих матеріалів або відгороджувати від них екранами з негорючих матеріалів;

– відстань від кабелів та ізольованих проводів, що прокладаються відкрито за конструкціями, на ізоляторах, тросах, у лотках тощо, до місць відкритого зберігання (розміщення) горючих матеріалів має становити не менше 1 м.;

– нові підключення різних струмоприймачів (електродвигунів, нагрівальних приладів та ін.) слід проводити з урахуванням допустимого (максимально можливого) струмового навантаження електромережі, що існує;

Шафи з електрощитами, які перебувають у коридорах, вестибюлях та в інших шляхах евакуації, слід розміщувати в нішах або на висоті не менше ніж 2,2 м від підлоги та тримати зачиненими.

– електрощити слід оснащувати схемою підключення споживачів з пояснювальними написами;

– кабельні споруди і конструкції, на яких укладаються кабелі, слід виконувати з негорючих матеріалів. Забороняється розміщення в кабельних спорудах будь-яких тимчасових пристроїв, зберігання матеріалів та обладнання.

Забороняється:

– експлуатація електрокабелів і проводів з пошкодженою або такою, що втратила в процесі експлуатації захисні властивості, ізоляцією;

– залишати під напругою кабелі і проводи з неізольованими струмопровідними жилами;

– користуватися пошкодженими розетками, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами, рубильниками та іншими електроприладами;

– використовувати електроапаратуру і прилади в умовах, що не відповідають зазначеним рекомендаціям заводів-виробників;

– складувати горючі матеріали на відстані менше 1 м над і під електрощитами та від електрообладнання;

– застосовувати ролики, вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу та інших предметів; заклеювати ділянки електропроводки папером, горючими тканинами;

– застосовувати для електромереж радіо- і телефонні проводи;

– використовувати електроустановки, нагрівання поверхні яких під час роботи перевищує температуру навколишнього повітря більше ніж на 40 град.С (якщо до цих електроустановок не ставляться інші вимоги).

У всіх приміщеннях (незалежно від призначення), які після закінчення робіт зачиняються і не контролюються черговим персоналом, усі електроустановки та електроприлади мають бути знеструмлені (за винятком тих, які працюють цілодобово за вимогами технології: чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, електроустановок).

На кожному об'єкті має бути встановлений порядок знеструмлення електрообладнання, силових та контрольних кабелів у

разі пожежі із забезпеченням незалежного електроживлення систем пожежної автоматики та протипожежного водопостачання.

Усе електрообладнання (корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників, розподільних щитів, щитів управління, металеві корпуси; пересувні і переносні електроприймачі тощо) підлягає зануленню або заземленню.

Несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, неприпустиме нагрівання горючої ізоляції кабелів, проводів, повинен негайно усувати черговий персонал. Несправну електромережу слід відключати до приведення її в пожежобезпечний стан.

Будівлі, споруди і зовнішні установки слід захищати від прямих ударів блискавки та вторинних їх проявів.

Для підтримання пристроїв захисту від блискавок у справному стані слід регулярно проводити їх ревізію: для будинків і споруд I і II категорій щодо блискавкозахисту щороку; для III категорії - не рідше 1 разу на 3 роки із складанням акту, у якому зазначаються виявлені дефекти.

Усі виявлені пошкодження і дефекти повинні бути негайно усунені.

Для живлення світильників загального освітлення в приміщеннях слід використовувати, як правило, напругу не вище 220 В. У приміщеннях без підвищеної небезпеки зазначена напруга допускається для всіх стаціонарних світильників, незалежно від висоти їх установа.

У вибухо- та пожежонебезпечних зонах слід застосовувати світильники з відповідним рівнем вибухозахисту або ступенем захисту оболонки.

Конструкція світильників з дуговими ртутними лампами в пожежонебезпечних зонах повинна виключати випадіння з них ламп. Світильники з лампами розжарювання і з люмінесцентними лампами в пожежонебезпечних зонах повинні мати суцільне силікатне скло, що захищає лампу, і не мати відбивачів та розсіювачів з горючих матеріалів.

У приміщеннях з підвищеною пожежонебезпекою напруга для живлення світильників, як правило, не повинна перевищувати 42 В.

При встановленні світильників напругою 220 В загального освітлення з лампами розжарювання на висоті менше 2,5 м потрібно застосовувати світильники, конструкція яких унеможлиблює доступ до лампи без інструменту. Електропроводка, що прокладається до світильника, повинна бути в металевих трубах (рукавах) або захисних оболонках.

Кабелі та незахищені проводи можна використовувати тільки для живлення світильників з лампами розжарювання напругою не вище 42 В.

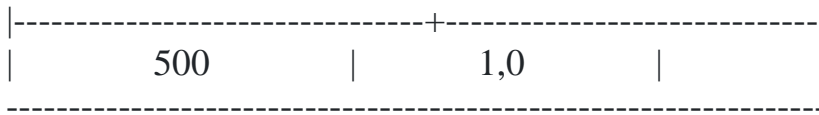
Світильники з люмінесцентними лампами напругою 127 та 220 В допустимо встановлювати на висоті не менше ніж 2,5 м від підлоги при умові недоступності їх струмопровідних частин для дотику.

У приміщеннях вологих, особливо вологих і з жарким середовищем застосування люмінесцентних ламп для місцевого освітлення дозволяється тільки в арматурі спеціальної конструкції.

Переносні світильники повинні бути обладнаними захисними скляними ковпаками і сітками для захисту від механічних пошкоджень та виконаними у вибухозахисному варіанті. Для цих світильників та іншої переносної електроапаратури слід застосовувати гнучкі кабелі або проводи з мідними жилами, спеціально призначені для цієї мети - з урахуванням можливих механічних впливів.

Відстань між світильниками з лампами розжарювання та предметами (будинковими конструкціями) з горючих матеріалів повинна бути не меншою таких значень:

Номінальна потужність, Вт	Мінімальна відстань, м
100	0,5
300	0,8



Інші види світильників слід розміщувати на відстані не менше 0,5 м від горючих матеріалів та предметів, а від горючих будівельних конструкцій - на відстані не менше 0,2 м.

За наявності у виробничих і складських приміщеннях горючих матеріалів (паперу, гуми, бавовни та ін., а також виробів в упаковці з горючих матеріалів) електричні світильники повинні бути в закритому або захищеному стані (із скляними ковпаками).

Забороняється підвішування світильників безпосередньо на струмопровідні проводи, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх із знятими ковпаками (розсіювачами).

Аварійне освітлення (у приміщеннях і на місцях ведення зовнішніх робіт) слід передбачати тоді, коли відсутність робочого освітлення може викликати порушення нормального обслуговування обладнання та механізмів, унаслідок чого може статись вибух або пожежа.

Світильники аварійного освітлення для продовження роботи, а також світильники евакуаційного освітлення повинні бути приєднаними до незалежного джерела живлення або автоматично на нього переключатись. Світильники аварійного освітлення для евакуації мають живитись від джерел, незалежних від мережі робочого освітлення, починаючи від щита підстанції, або за наявності тільки одного вводу (у будівлю або в зоні робіт на відкритому просторі) - починаючи від цього вводу.

Допускається живлення аварійного освітлення від мережі робочого освітлення з автоматичним переключенням на зазначені вище джерела живлення при аварійних режимах.

У будівлях без природного освітлення робоче та аварійне освітлення як для продовження роботи, так і для евакуації повинні живитись від двох незалежних джерел енергії.

Мережі робочого та аварійного освітлення повинні бути при цьому роздільними. Використання електросилових мереж для живлення робочого або аварійного освітлення не допускається.

У виробничих будівлях без природного освітлення і в приміщеннях, де можуть водночас перебувати 100 і більше чоловік, незалежно від наявності аварійного освітлення має передбачатись евакуаційне освітлення на шляхах евакуації, яке переключається при припиненні його живлення на незалежне зовнішнє або місцеве (акумуляторну батарею, дизель-генераторну установку) джерело і не використовується в нормальному режимі для живлення робочого, аварійного та евакуаційного освітлення.

Електродвигуни, світильники, проводи, розподільні пристрої слід очищати від пилу не рідше ніж два рази на місяць, а в запилених приміщеннях - щотижня.

Лампи розжарювання, які мають дефекти скляної колби, слід негайно замінити.

Для забезпечення пожежної безпеки трансформаторні підстанції (далі - ТП), перетворювальні підстанції (далі - ПП) і розподільні пристрої (далі - РП) за їх наявності на підприємстві повинні відповідати таким вимогам:

- будівлі або приміщення мають бути захищені стаціонарними або пересувними установками пожежогасіння відповідно до вимог чинних нормативних документів;

- конструктивні елементи будинків або приміщень, де розміщене основне обладнання, мають відповідати вимогам чинних будівельних норм з урахуванням ступеня їх вогнестійкості згідно з ДБН В.1.1-7-2002;

- РП і підстанції з установленими в них апаратами та приладами повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів;

- опалення, вентиляція, освітлення та мережі заземлення мають бути у справному стані;

– системи аварійної сигналізації повинні бути справними і відповідати вимогам чинних технічних умов та інструкцій з експлуатації;

– РП повинні мати чіткі написи, що вказують на призначення окремих ланцюгів і панелей;

– щити мають бути пофарбовані згідно з вимогами чинних технічних умов з експлуатації електроустановок і постійно бути чистими;

– корпуси трансформаторів, розподільних щитів та щитів управління підлягають зануленню або заземленню.

Персонал підприємства, який обслуговує РП, ТП і ПП, повинен мати схеми і вказівки про допустимі режими роботи електрообладнання в нормальних та аварійних умовах.

Клас ізоляції електрообладнання має відповідати номінальній напрузі мережі, а пристрої захисту від перенапружень - рівню ізоляції електрообладнання.

Межа нагрівання конструкцій, розміщених поблизу струмопровідних частин і доступних для дотику персоналу, не повинна перевищувати 50 град.С, а недоступних для дотику - 70 град.С.

Конструкції можна не перевіряти на нагрівання, якщо по струмопровідних частинах або поблизу конструкцій проходить змінний струм 1000 А і менше.

Періодичність перевірки нагрівання цих конструкцій не рідше 1 разу на 3 місяці визначає особа, відповідальна за електрогосподарство на підприємстві.

У всіх колах РП слід передбачити встановлення роз'єднувальних пристроїв з видимим розривом, що забезпечує можливість від'єднання всіх апаратів (вимикачів, запобіжників, трансформаторів струму, трансформаторів напруги та ін.) кожного кола від збірних шин, а також від інших джерел напруги.

Огляд і очищення РП, щитів, щитків від пилу і забруднення слід проводити не рідше 1 разу на 3 місяці.

Опалення. З метою здійснення контролю за технічним станом та за експлуатацією, своєчасним та якісним ремонтом опалювальних установок на

підприємствах АПК наказом по підприємству призначається відповідальна особа (головний механік або інша особа), а по цехах, майстернях, дільницях, складах, лабораторіях та окремих об'єктах (підрозділах) - керівники цих підрозділів.

Опалювальні установки, теплові мережі будинків і споруд повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів, протипожежним вимогам державних стандартів, будівельних норм.

Опалення на підприємствах повинні виконувати спеціально призначені працівники, які пройшли перед початком опалювального сезону щорічний протипожежний інструктаж.

Перед початком опалювального сезону котельні, теплогенератори та калориферні установки та інші опалювальні прилади слід старанно перевірити і відремонтувати.

Забороняється експлуатувати несправні опалювальні установки та прилади.

Запас палива на підприємстві слід зберігати у спеціально пристосованих приміщеннях або на спеціально виділених майданчиках (у резервуарах) з урахуванням вимог будівельних норм.

У вибухопожежонебезпечних і пожежонебезпечних приміщеннях категорій А, Б і В (додаток 3) застосування пічного опалення забороняється.

У вибухопожежонебезпечних приміщеннях категорій А і Б слід застосовувати, як правило, систему водяного або парового опалення (за винятком приміщень, у яких зберігаються або застосовуються речовини, які при з'єднанні з водою або водяними парами утворюють вибухонебезпечні суміші, чи речовини, які здатні до самоспалахування або до вибуху при взаємодії з водою).

Трубопроводи теплових мереж у місцях перетинання металевих огорожувальних конструкцій стін, перегородок, перекриттів з горючим полімерним утеплювачем необхідно прокладати в гільзах з відповідним ущільненням негорючими матеріалами.

При прокладанні теплових мереж над землею по території підприємства дозволяється застосовувати тільки негорючий теплоізоляційний матеріал.

Теплоізоляція повинна виконуватися з матеріалів, що унеможливають виділення вибухопожежонебезпечних речовин, і відповідати вимогам будівельних норм.

Експлуатація теплових мереж з пошкодженою і просоченою горючими рідинами теплоізоляцією не дозволяється.

Особи, призначені на підприємствах відповідальними за технічний стан опалювальних установок, зобов'язані організувати постійний контроль за правильністю їх утримання та експлуатацією, своєчасним і якісним ремонтом.

Паління печей на підприємствах повинно проводитися спеціально призначеними особами, які пройшли протипожежний інструктаж.

Режим, час та тривалість паління печей установлюються розпорядженням керівника підприємства з урахуванням місцевих умов.

Паління печей у будівлях та спорудах, за винятком житлових будинків тощо, повинно припинятися не менше ніж за дві години до закінчення роботи, а на інших об'єктах з цілодобовим перебуванням людей - за дві години до сну.

Опалювальні прилади повинні розміщуватися так, щоб до них був забезпечений вільний доступ для огляду й очищення.

Очищення димоходів та печей від сажі потрібно проводити перед початком, а також протягом усього опалювального сезону, а саме:

- опалювальних печей періодичної дії на твердому та рідкому паливі - не рідше одного разу на три місяці;
- печей та осередків вогню безперервної дії - не рідше одного разу на два місяці;
- кухонних плит та кип'ятильників - один раз на місяць.

Відповідальність за порушення Правил

Керівники підприємств, установ, організацій та інші посадові особи несуть персональну відповідальність за виконання вимог Правил в межах покладених на них завдань та функціональних обов'язків згідно з чинним законодавством.

Особи, винні у порушенні цих Правил, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством. За безпеку конструкції, правильність вибору матеріалу, якість виготовлення, монтажу, налагодження, ремонту і технічного діагностування, а також за відповідність об'єкта цим Правилам відповідає підприємство, установа, організація (незалежно від форми власності та відомчої належності), що виконує відповідні роботи.

Висновки до п'ятого розділу

У роботі розглянуті загальні вимоги та нормативи з охорони праці, які застосовуються на сільськогосподарських об'єктах з використанням захищеного ґрунту. Враховано особливості роботи в теплицях та забезпечено виконання необхідних заходів з охорони праці для забезпечення безпеки працюючих.

Проаналізовані вимоги безпеки, які стосуються виробничого устаткування та організації робочих місць. Встановлено необхідні заходи для запобігання виникненню нещасних випадків та травматичних ситуацій. Дотримання цих вимог гарантує безпеку працюючих під час експлуатації системи керування мікрокліматом.

Розглянуто вимоги пожежної безпеки, які стосуються територій, будівель, приміщень та споруд. Встановлено необхідні заходи для запобігання пожежам, а також для швидкого виявлення та гасіння можливих загорянь. Виконання цих вимог сприяє забезпеченню безпеки працюючих та майна.

В цілому, розглянуті вимоги з охорони праці, вимоги безпеки до виробничого устаткування, організації робочих місць та вимоги пожежної безпеки є важливими аспектами проекту системи керування мікрокліматом в теплиці. Виконання цих вимог допомагає забезпечити безпеку працюючих, запобігти нещасним випадкам та пожежам, а також створити комфортні та безпечні умови для роботи в теплиці.

ВИСНОВКИ

В першому розділі даної магістерській роботі проведено детальний аналіз об'єкта та системи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Виконано аналітичний огляд науково-технічної літератури та патентної інформації, що стосується керування мікрокліматом, та проаналізовано технічні засоби автоматизації контролю параметрів мікроклімату в теплиці.

У другому розділі розроблено фізичну модель системи керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Описано загальну структуру системи, а також апаратне та програмне забезпечення, яке використовується для забезпечення оптимальних умов мікроклімату.

У третьому розділі проведено розрахунки потужності системи керування та розроблено електричну принципову схему. Крім того, здійснено конструктивне виконання шафи керування та оцінено економічну складову проекту.

Четвертий розділ присвячений методам керування мікрокліматом в спорудах захищеного ґрунту. Проведено огляд можливих методів та законів керування, зосереджено увагу на обраному методі ПІД. Проаналізовані переваги та недоліки цього методу, створена математична модель технологічного процесу та оцінені статичні та динамічні характеристики системи з показниками якості і стійкості.

У п'ятому розділі враховано питання охорони праці на сільськогосподарських об'єктах в спорудах захищеного ґрунту. Встановлені загальні вимоги з питань охорони праці.

В цілому, в ході роботи:

1. Досліджено основну інформацію, що до актуальності вирішення проблем вирощування рослин в спорудах захищеного ґрунту
2. Проаналізовано технічні рішення автоматизованих систем керування мікрокліматом споруд захищеного ґрунту, що пропонує ринок, розібрані їх недоліки та переваги.
3. Розглянуто різні види датчиків кожного типу, їх чутливі елементи та принципи їх роботи.

4. Розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування мікрокліматом в теплиці.
5. Створено математичну модель та оцінені статичні та динамічні характеристики системи за показниками якості і стійкості.
6. Розроблено електричну принципову схему системи керування мікрокліматом.
7. Реалізовано апаратне та програмне рішення системи виходячи з наступних задач:
 - керування температурою повітря і води шляхом виміру температур та управління електронагрівачами
 - керування лінійним приводом системи провітрювання по концентрації CO₂
 - керування насосом поливу шляхом виміру рівня вологості ґрунту
 - керування освітленням фітолампи по рівню освітленості.
8. Розроблено та налаштовано програмне забезпечення, що дозволяє управляти усіма означеними вище параметрами за допомогою інтерактивного меню.
9. Виготовлено експериментальний зразок системи автоматизованого контролю мікрокліматом в теплиці.
10. Виконана перевірка окремих функціональних можливостей системи шляхом штучної зміни стану сенсорів.
11. Розглянуті питання охорони праці.

Результати роботи апробовані на: XV Міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум 2021», XXIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Могилянські читання 2020», Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених аспірантів та студентів «Інтелектуальні інформаційні системи 2021»;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пилипчук А. А. Як створити розумну теплицю [Електронний ресурс] / Андрій Петрович Пилипчук // AgriGeek. – 2021. – [Цит. 2021, 12 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://aggeek.net-blog/kak-sozdat-umnuyu-teplitsu>.
2. Вичук В. А. Розумна теплиця [Електронний ресурс] / Валерій Андрійович // Green IQ. – 2021. – [Цит. 2021, 14 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://greeniq.com.ua/umnaya-teplica/>.
3. Сирих Е. П. Вирощування помідор [Електронний ресурс] / Катерина Павловна Сирих // Зелена дача. – 2012. – [Цит. 2021, 18 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://greendacha.com/garden/ovoshchi/vyrashchivanie-pomidorov-cherri>.
4. Гермес О. В. Усе про розумні теплиці [Електронний ресурс] / Олег Вадимович Гермес // Green Wave ORGANIC. – 2015. – [Цит. 2021, 16 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://gw-organic.com/i-green-sistemi/malenkaya-teplica>.
5. Стасова Е. А. Зрошувальні системи [Електронний ресурс] / Елена Альбертовна Стасова // PRESTO. – 2015. – [Цит. 2021, 19 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://presto-ps.ua/>.
6. Войтюк В. С. Контроллер CO2 AZ-7530 [Електронний ресурс] / Володимир Сергійович Войтюк // Simvolt. – 2010. – [Цит. 2021, 27 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://simvolt.ua/ru/kontroller-co2-az-7530-ua.html/>.
7. Цифровий термостат ХН-W1411 [Електронний ресурс] // ARDUINKA.BIZ.UA. – 2017. – [Цит. 2021, 20 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://arduinka.biz.ua/ru/tsifrovoy-termostat-Xh-W1411-p708c79.html>.
8. Грынъ Р. Н. Датчик температури. Види та принцип дії, Як вибрати потрібне [Електронний ресурс] / Роман Миколайович Грынъ // ЭЛЕКТРОСАМ.РУ. – 2019. – [Цит. 2021, 25 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://electrosam.ru/glavna/jelektrooborudovanie/ustrojstva/datchiki-temperature/>.

9. Савченко Н. Р. Датчики вологості - як влаштовані та як працюють [Електронний ресурс] // Elektrik.info. – 2015. – [Цит. 2021, 24 лютого] Режим доступу до ресурсу: <http://elektrik.info/main/automation/1083-datchiki-vlazhnosti-kak-ustroeny-i-rabotayut.html>.
10. Лісовський О.К. Газові датчики [Електронний ресурс] // Ардуіно КІТ. – 2014. – [Цит. 2021, 21 лютого] Режим доступу до ресурсу: https://arduino-kit.ru/blog/blog/project_22.
11. Arduino Nano V3.0 [Електронний ресурс] // arduino. – 2019. – [Цит. 2021, 22 лютого] Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>.
12. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19B) [Електронний ресурс] // Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd ISO9001 certificated company. – 2016. – [Цит. 2021, 26 лютого] Режим доступу до ресурсу: https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf.
13. BME 280 Digital humidity and temperature sensor [Електронний ресурс] // Bosch BST-BME280-DS002-15. – 2018. – [Цит. 2021, 4 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>.
14. Ємнісні датчики вологості ґрунту [Електронний ресурс] // Green IQ. – 2020. – [Цит. 2021, 8 березня] Режим доступу до ресурсу: http://geekmatic.in.ua/ua/datchik_vlazhnosti_pochvi_emkostniy.
15. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Електронний ресурс] // Maxim Integrated Products, Inc. – 2019. – [Цит. 2021, 9 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
16. Датчик освітлення [Електронний ресурс] // smarthof. – 2021. – [Цит. 2021, 5 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://www.smarthof.ru/info/datchik-osveshheniya%20/>.

17. Том'як О. DS3231 Годинник реального часу [Електронний ресурс] // controller.in.ua – 2021. – [Цит. 2021, 8 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://controller.in.ua/ds3231-chasy-realnogo-vremeni-for-pi>.
18. Назначение и виды энкодеров [Електронний ресурс] // ООО "ТЕХПРИВОД ИНЖИНИРИНГ". – 2003. – [Цит. 2021, 6 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/naznachenie-i-vidy-encoderov.html>.
19. Specification For LCD Module 2004A [Електронний ресурс] // SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO.,LTD. – 2008. – [Цит. 2021, 12 березня] Режим доступу до ресурсу: https://www.beta-estore.com/download/rk/RK-10290_410.pdf.
20. Solid state relays [Електронний ресурс] // Power-іо. – 2014. – [Цит. 2021, 9 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://www.power-іо.com/library/appnotes/solid-state-relay-terminology.htm>.
21. Двоканальний драйвер колекторних моторів ТВ6612 [Електронний ресурс] // © arduinolab.pw. – 2018. – [Цит. 2021, 15 березня] Режим доступу до ресурсу: <http://arduinolab.pw/index.php/2017/07/04/dvухkanalnyj-drajver-kollektornyx-motorov-tb6612fng/>.
22. Datasheet ADD-155A [Електронний ресурс] // Mean Well International Co. Ltd. – 2014. – [Цит. 2021, 20 березня] Режим доступу до ресурсу: <https://www.sea.com.ua/producer/mean-well-international-co-ltd/>.
23. Иванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с.

Технічні компоненти АСК



Рисунок Д.1 – Загальний вигляд конструкції шафи керування



Рисунок Д.2 - Зовнішній вигляд датчиків



Рисунок Д.3 - Виконавчі елементи системи