

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) Енергетики, автоматики і енергозбереження

УДК 628.88

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)

Енергетики, автоматики і енергозбереження
(назва факультету (ННІ))

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Кафедра автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

Каплун Віктор Володимирович

(підпис)

(ПІБ)

Лисенко Віталій Пилипович

(підпис)

(ПІБ)

“ ”

2022 р.

“ ”

2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження та удосконалення автоматизованої системи керування мікрокліматом в теплиці із використанням технічних засобів schneider electric

Спеціальність

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

Освітня програма

Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

проф., д.т.н.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Лисенко Віталій Пилипович
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ІНІ) Енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри автоматики та
робототехнічних систем ім. акад. І.І.
Мартиненка**

проф., д.т.н. Лисенко Віталій Пилипович
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Михайлову Олегу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Дослідження та удосконалення автоматизованої системи керування мікрокліматом в теплиці із використанням технічних засобів schneider electric

Затверджена наказом ректора НУБіП України від “ ” 20 р. №

Термін подання завершеної роботи на кафедру “ ” (рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1.
- 2.
- 3.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “ ” 20 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(підпис)

Лисенко В.П.
(прізвище та ініціали)

Михайлов О.В.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

До складу даної магістерської роботи входить вступ, основна частина, висновки та використані джерела. Усього робота займає 72 сторінки, налічує 53 рисунки, 4 таблиці, 54 формули.

У якості об'єкта дослідження даної магістерської роботи виступають процеси обігріву, вентиляції та зволоження повітря у блочній теплиці, що дозволять підтримувати мікроклімат на ідеальному рівні.

Предмет дослідження – блочна теплиця, що є об'єктом автоматизації, а також покращення системи автоматичного керування мікрокліматом у ній.

Метою праці є дослідження, розробка та удосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом у теплиці.

Задачі, що розглядаються у даній магістерській роботі:

- проаналізувати характеристики існуючих систем керування мікрокліматом;
- створити та проаналізувати математичну модель системи керування мікрокліматом, а також її динамічні характеристики за регулюванням вологості і регулюванням температури;
- підібрати сучасні засоби для реалізації розробленої системи;
- розробити та впровадити нейронну мережу, що дозволить зменшити витрати на енергоресурси під час експлуатації системи;
- створити функціональну схему розробленої системи автоматичного керування мікрокліматом у теплиці, виходячи з розглянутих вище задач;
- провести аналіз якості показників отриманої системи;
- провести кошторисні розрахунки.

Дана робота є актуальною, оскільки населення планети неспинно зростає, а ресурси вичерпуються. Зважаючи на це виникає проблема голоду певних груп населення. Задля її запобігання важливо не лише збільшити кількість продукції, а й зробити її доступнішою, шляхом зниження ціни. Це можливо за рахунок зниження вартості виготовлення продукції, котре може бути досягнуте за допомогою економії енергоресурсів.

Методи досліджень у цій роботі ґрунтуються на положеннях теорій теплообміну і теорій масообміну, а також математичному моделюванні.

Новизна даної магістерської роботи у впровадженні нейронної мережі, яка дозволить знизити собівартість продукції шляхом економії енергоресурсів.

По даній магістерській роботі було опубліковано одну тезу доповіді.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ТЕПЛИЦЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, МІКРОКЛІМАТ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ABSTRACT

The composition of this master's thesis includes an introduction, main part, conclusions and sources used. Total work takes 72 pages, has 33 figures, 4 tables, 54 formulas.

The object of research of this master's thesis are the processes of heating, ventilation and humidification of the air in the block greenhouse, which will maintain the microclimate at an ideal level.

The subject of the research is the block greenhouse, which is the object of automation, as well as the improvement of the system of automatic control of the microclimate in it.

The aim of the work is to study, develop and improve the system of automatic microclimate control in the greenhouse.

Tasks considered in this master's thesis:

- analyze the characteristics of existing microclimate management systems;
- create and analyze a mathematical model of the microclimate control system, as well as its dynamic characteristics for humidity control and temperature control;
- select modern tools for the implementation of the developed system;
- develop and implement a neural network that will reduce energy costs during system operation;
- create a functional diagram of the developed system of automatic control of the microclimate in the greenhouse, based on the above tasks;
- to analyze the quality of the indicators of the obtained system;
- make estimates.

This work is relevant because the world's population is constantly growing and resources are depleted. Due to this, there is a problem of hunger of certain groups. To prevent it, it is important not only to increase the number of products, but also to make it more affordable by lowering the price. This is possible by reducing the cost of production, which can be achieved by saving energy.

Research methods in this work are based on the provisions of theories of heat transfer and theories of mass transfer, as well as mathematical modeling.

The novelty of this master's thesis is the implementation of the neural network, which will reduce production costs by saving energy.

One thesis was published on this master's thesis.

Key words: AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, NEURAL NETWORK, GREENHOUSE, MICROCONTROLLER, MICROCLIMATE.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	4
1.1 Опис об'єкта та його основні параметри.....	4
1.2 Системи автоматичного керування мікрокліматом.....	7
1.3 Актуальність та постановка задачі.....	8
1.4 Технологічні характеристики об'єкту.....	10
1.5 Дослідження сучасних систем контролю мікроклімату в теплиці.....	11
1.6 Аналіз процесів об'єкта автоматизації.....	14
1.7 Система опалення.....	15
1.8 Система зволоження повітря.....	17
1.9 Система вентиляції.....	21
1.20 Система освітлення.....	22
1.21 Висновки першого розділу.....	24
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	26
2.1 Розробка математичної моделі технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції.....	26
2.2 Розробка САК мікрокліматом у теплиці.....	34
2.3 Функціональна схема САК мікрокліматом.....	37
2.4 Обрання датчиків.....	38
2.5 Обрання регулюючого органу.....	41
2.6 Обрання виконавчого механізму.....	43
2.7 Обрання регулятора.....	45
2.8 Створення функціональної схеми та структурно-алгоритмічної схеми.....	47
2.9 Дослідження системи на стійкість та якість регулювання.....	50
2.10 Перехідний процес системи автоматичного керування та показники	

якості.....	51
2.11 Створення принципової електричної схеми.....	54
2.12 Вибір пускозахиної апаратури.....	55
2.13 Нейронна мережа.....	60
2.14 Висновки другого розділу.....	64
РОЗДІЛ 3. КОНТОРИСНІ РОЗРАХУНКИ.....	66
3.1 Розрахунки витрат на встановлення, експлуатацію та терміну окупності системи.....	66
3.2 Висновки третього розділу.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	71

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Щорічно кількість людей стрімко зростає. Незабаром ця цифра досягне позначки у вісім мільярдів. Через це дуже актуальною стає проблема повноцінного харчування населення. На превелику жаль, природа є непередбачуваною, і зміни у ній можуть знищувати великий відсоток такого цінного для людей врожаю. Для запобігання даній проблемі на допомогу приходять теплиці. Кількість цих споруд щорічно стрімко зростає, разом з асортиментом продукції, що в них вирощуються.

У наш час є дуже багато факторів, котрі давали б змогу усунути проблеми харчування, які на собі відчуває майже восьма частина людства. До них можна віднести генну модифікацію насіння – це дає йому змогу збільшити плодоношення та підвищити стійкість до перепадів температури і вологості; добрива; захист від шкідників та ін. Але основну роль у зрощуванні тепличного врожаю відіграє САК мікрокліматом. Якщо така система підібрана і налаштована оптимальним чином, то завдяки підтримці ідеальних параметрів мікроклімату підвищить врожайність на ~15%, а також збереже енергоресурси, що, у свою чергу, приведе до зниження вартості товару. Окрім вищезазначеного автоматизація процесів у теплиці робить мінімальним ризик помилок зі сторони людини, а також покращує умови праці для персоналу.

Насьогодні в Україні діє постанова Кабінету Міністрів України №1174, що передбачає запровадження сучасних комп'ютерних технологій до управління промисловими об'єктами. Це, як ніщо інше, є доказом актуальності даної тематики.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Опис об'єкта та його основні параметри

Теплиця представляє собою найдосконалішу промислову споруду, що має свою власну аграрну екосистему, на яку не впливають негативні фактори зовнішнього середовища. Основна ціль даної споруди є висока врожайність на протязі усього року, незалежно від зовнішніх кліматичних умов. На відміну від парникових споруд теплиця є значно більшою і представляє собою комплекс, який зможе забезпечити більший спектр можливостей.

Є декілька способів класифікувати теплиці:

1. За призначенням (розсадні, селекційні, овочеві, оранжереї, об'єднані).
2. За терміном використання (напротязі усього року або сезонні).
3. За конструкцією (аграрні або блочні).
4. За технологічним виконанням (гідропоніка, стелажі, фітотрони, ґрунтові).
5. За системою обігріву (повітряний, водяний).
6. За матеріалом стінок (плівка, скло, полімери).
7. За профілями (односхильні, двосхильні).
8. За матеріалом каркасу (дерево, полімери, метал).
9. За каркасом (кулоподібні, багатокутні, аркові).
10. За розмірами (промислові, фермерські, індивідуальні).

На рис. 1.1 показані теплиці блочного типу, що призначені для вирощування овочів, фруктів та інших культур. Такі сучасні теплиці спроможні забезпечити врожайність томатної культури від 60 до 65 кілограмів з 1 м², а огіркової – від 30 до 45 кілограмів з 1 м².



Рисунок 1.1 – Блочна теплиця

Однією з найважливіших частин тепличної споруди є каркас. Найчастіше розробники використовують оцинковані сталеві конструкції. Причин на це декілька – вони міцні, захищені від корозії через цинкування, не потребують фарбування, не підвласні гниттю та шкідникам, стійкі до високої вологості у теплиці. Стінки теплиці у більшості випадків виконують з прозорого матеріалу – скла, полімерів або плівки. Бетонний фундамент та залізобетонний цоколь забезпечують міцність споруди. Схема блочної теплиці на рис. 1.2.

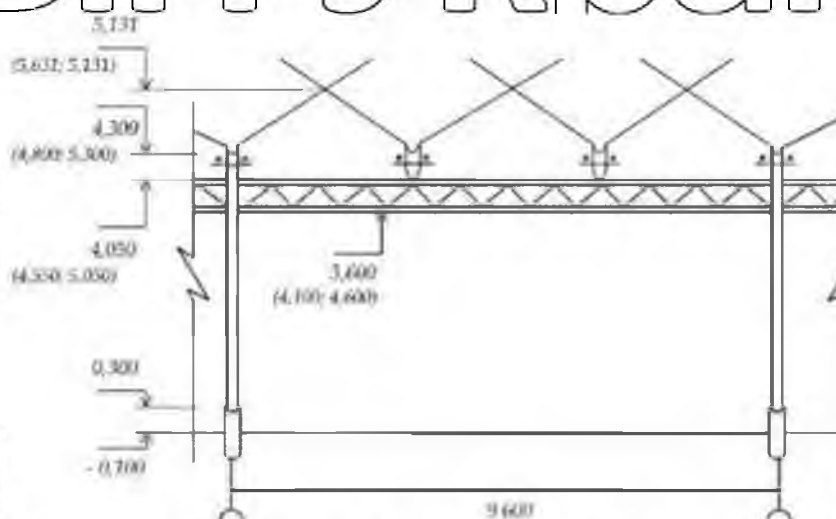


Рисунок 1.2 – Схема блочної теплиці

Під час проектування споруди слід взяти до уваги погодні умови регіону, а саме:

- опади;
- швидкість вітру;
- освітленість;
- температурний режим

Не слід залишати без уваги й інші показники місцевості, де планується звести теплицю:

- ґрунт;
- наявність водопостачання;
- комунікації.

Якщо брати до уваги, що теплиця, яку я розглядаю у даній роботі, знаходиться у Київській області, то для неї слід орієнтуватися на показники, зазначені на рис. 1.3.

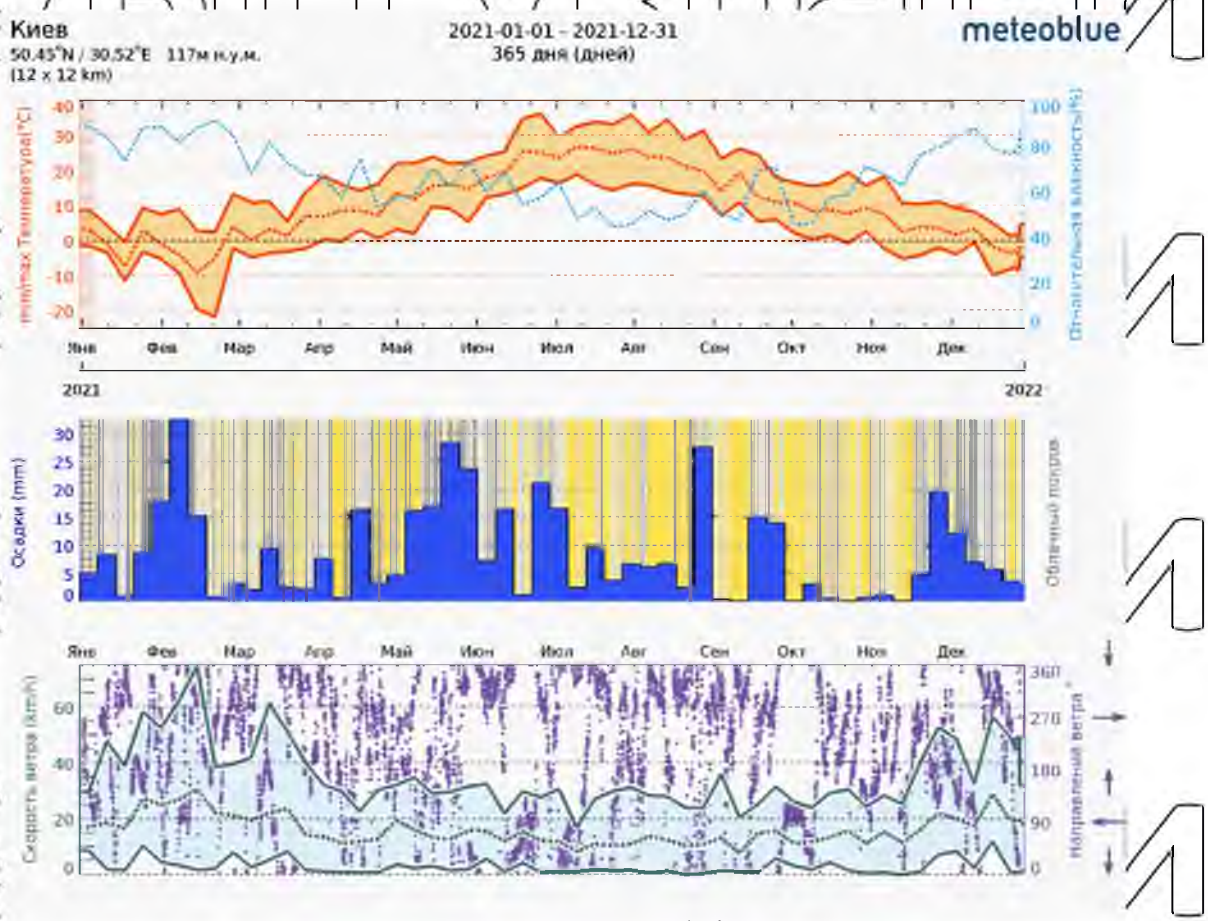


Рисунок 1.3 – Кліматичні показники

Також існує необхідність передбачити сучасні технології та рішення, що вони пропонують задля забезпечення збільшення врожаю, економії енергетичних ресурсів, зниження вартості продукції, використання вкладених коштів, збереження навколишнього середовища, оскільки зараз потрібно будувати тепличні комплекси, враховуючи можливості, які дають альтернативні джерела енергії.

Слідуючи усім зазначеним вище факторам необхідно дотримуватись і вимог до спорудження теплиць, що написані у таких документах, як ДБН Б.24-3-95 «Генеральні плани сільськогосподарських підприємств», СНіП 2.09.02-85; СНіП 2.09.04-87.

1.2 Системи автоматичного керування мікрокліматом

Сучасна теплиця являє собою автоматизовану систему, яка може відслідковувати різноманітні покази з датчиків, і, орієнтуючись на них, підбирати й встановлювати найкращі умови для розвитку рослин, які потребують відповідного температуро-вологісного режиму.

Нижче наведені основні фактори, які контролюються у сучасних теплицях:

- температура повітря (задля недопущення перегріву чи замерзання рослин, а також для досягнення максимального врожаю);
- рівень вологості (оскільки дощова вода недоступна для тепличних рослин, то полив і підтримка необхідного рівня вологості в приміщенні є необхідними для виживання рослин);
- рівень освітлення (дозволяє нівелювати нестачу природнього світла, або навіть продовжувати вирощування рослин у ночі за допомогою досвічування);
- склад повітря (показники насичення повітря вуглекислим газом або киснем дуже важливі для росту та розвитку рослин у різну пору року та час доби);

- підживлення рослин (добрива є невід’ємною частиною сучасного сільського господарства, яка на пряму впливає на виживання рослин і їх врожайність).

Для контролю за усіма зазначеними факторами використовуються найрізноманітніші системи автоматизації, серед яких:

- вентилявання – за допомогою вентиляторів або фрауг;
- полив – може відбуватися за графіком, або при падінні рівня вологості;
- опалення – використовуючи системи опалення на воді, газу, електроенергії;
- охолодження – за рахунок систем кондиціонування;
- досвічування – за рахунок використання штучних джерел світла;
- контроль CO_2 – за допомогою систем контролю вуглекислого газу;
- підживлення – добрива вносяться під час зрошення.

Залежно від того, які з цих систем ми використаємо у нашій САК, на виході буде та чи інша цінова категорія. На цінове питання також оказує вплив рівень автоматизації – частковий, комплексний, або повний.

1.3 Актуальність та постановка задачі

Зрошення, вентиляція і опалення теплиці забезпечують у ній відповідні параметри мікроклімату – відносну вологість, швидкість руху повітря, температуру, що встановлені відповідно до вимог і норм проектування теплиць. САК опаленням та вентиляцією повинні підтримувати відповідну температуру та швидкість руху повітря, що вказані в технологічних нормах до вирощуваної культури. Ці показники можуть відрізнятись, залежно від типу рослини, способу її вирощування, фази її росту й інших чинників. Ріст цін на газ, який є основним паливом для тепличних господарств в Україні, фермери усе більше змушені прибігати до автоматизованих систем, які дозволять оптимізувати співвідношення затрачених коштів на енергоресурси і прибутку від реалізації рослин.

Сучасні теплиці дають змогу надійно й передбачено регулювати усі параметри, котрі впливають на ріст і розвиток рослини. Застосування

високопродуктивних технологій надає змогу отримання стабільно великих врожаїв на протязі усього року.

Надалі, у цій магістерській роботі, мною будуть розглянуті варіанти САК мікрокліматом в теплиці за наступними показниками – температура та вологість.

Також розроблено систему автоматизації, яка дає змогу значної економії ресурсів, тому що оптимізує витрати енергоресурсів на контроль зазначених вище параметрів.

Зважаючи на це, мої дослідження та вдосконалення САК мікрокліматом теплиці можна назвати своєчасними й актуальними.

Метою даної роботи ставиться розробка економічно-ефективної системи, спрямованої на контроль мікроклімату, яка б мала підвищену швидкість інформативності та менший час перехідного процесу системи автоматичного керування теплиці.

Для цього вирішені наступні задачі:

- проаналізовані характеристики САК мікрокліматом теплиці;
- розроблена динамічна математична модель оптимального варіанту керування;
- протестована динамічна математична модель, її характеристики по каналу регулювання температурою та каналу керування вологістю;
- підбрані технічні засоби для реалізації зазначеної системи;
- розроблена функціональна схема САК мікроклімату;
- проаналізовані якісні показники роботи системи, що була розроблена;
- проведена оцінка проєкту.

Об'єктом для дослідження є процеси, що підтримують оптимальний мікроклімат для рослини у теплиці, а саме – опалення, вентиляція, зволоження.

Предметом мого дослідження є спосіб підвищення врожайності різноманітної с.г. продукції, та зниження витрат на тепличних господарствах, за допомогою розробки і впровадження САК мікрокліматом.

Методи проведених досліджень ґрунтуються на фундаментальних принципах теорій теплообміну, масообміну, а також математичного моделювання шляхом сучасних технологій.

Узагальнюючи, можна зробити висновки, що підтримка оптимальних температуро-вологісних режимів на протязі вегетативного періоду овочевих культур, а також своєчасне внесення добрив – це основні чинники, що забезпечать максимум врожаю. Головна мета цієї роботи – розробити ефективну САК мікрокліматом в теплиці.

1.4 Технологічні характеристики об'єкту

У якості об'єкту автоматизації виступає блочна теплиця заводського виготовлення. Площа – 0.5 гектара, вирощувана культура – томати, термін – цілорічний. Орієнтуючись на статистичні показники та довідникові матеріали можемо зробити висновки по деяким умовам у тій області, де планується спорудження теплиці, а саме:

- низька сейсмічна активність;
- середньорічний напір вітру на рівні 45 кг/с/м^3 ;
- очікувана вага снігового шару взимку на рівні 15 кг/м^3 ;
- пологий рельєф;
- відсутність ґрунтових вод;
- найнижчі зимові температури протягом п'яти днів на рівні -25 градусів

Цельсью.

У теплиці буде використана система автоматичної підтримки температурного та вологісного режимів, внесення мін добрив і поливу рослин. Постачання пару і тепла до теплиці забезпечує власна котельня. Теплоносієм виступає вода температури $70-150$ градусів Цельсью.

Використання технологій дає змогу отримувати стабільно великі врожаї, на протязі усього року. Через це питання автоматизації технічних процесів у

тепличному господарстві постає дуже різко. Це питання і вирішується в даній роботі

1.5 Дослідження сучасних систем контролю мікроклімату в теплиці

Мікрокліматом називають кліматичні умови на малій території, які важливі для рослин. До нього відносять температуру, освітленість та вологість повітря.

Оскільки у даній роботі розглядається теплиця для вирощування помідорів (рис. 1.4), то надалі будуть підбрані оптимальні умови для росту цієї культури.

Томат являє собою однорічну або багаторічну рослину з родини Пасльонових.

Оскільки представлена теплиця має свою систему опалення, то продукт буде вирощуватися у два етапи: з січня до липня (зимово-весняний етап) та з січня до липня (літньо-осінній етап).



Рисунок 1.4 – Вид з середини теплиці з томатами

Зимово-весняні культури, зокрема томати, мають деякі особливості росту. Наприклад, у ранні терміни часто можна побачити дуже швидкий розвиток і ріст рослини, а це дуже шкодить врожаю.

Причини цього наступі:

1. надлишок нітрату азоту, якщо томати висаджувати у ґрунт з під огірків;
2. надлишок вологи, що сприяє надмірному росту кореневої системи томатів, а це, у свою чергу, шкодить їй подальшому розвитку.

Для уникнення даної проблеми потрібно висаджувати розсаду у спеціальному посуді (контейнери, горщики), зменшувати інтенсивність поливу та збільшити кількість солей у зоні кореня рослини.

Щоб отримувати стабільно високий врожай томатів дуже важливо дотримуватись оптимальних показників мікроклімату, що наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Оптимальні показники мікроклімату для томатів у зимово-весняний період

Параметр мікроклімату	До плодоношення	Під час плодоношення
Температура під час сонячної погоди, °C	22-24	24-26
Температура під час похмурої погоди, °C	19-20	20-22
Температура вночі, °C	16-17	18-19
Температура ґрунту, °C	16-18	18-20
Вологість повітря, %	60-65	
Рівень CO ₂ у повітрі, %	0,1-0,13	0,13-0,15

Для пониження температури влітку вмикається вентиляція, а взимку частково відключається обігрів. Під час спекотної літньої погоди можуть застосовувати дрібнокрепельне обприскування водою 2 або 3 рази на день. Це позитивно вплине на зниження температури верхніх листків рослини. Проте, якщо існує небезпека розвитку грибку, то такий спосіб охолодження застосовувати заборонено.

Під час переходу з нічного режиму підтримки температури на денний режим не слід допускати утворення конденсату на рослині. Влітку і навесні для томатів існує небезпека перегріву повітря. У разі цього застосовують підсилене вентиляція приміщення теплиці та додаткові поливи, зокрема системою

вишарного зволоження. Шкідливі також різкі або великі коливання температури або вологості, оскільки це може ослабити рослини і спровокувати виникнення хвороб.

У тепличних спорудах під час вирощування томатів задля покращення запилення використовують електромагнітні вібратори для вібрації рослин. Її застосовують два, або більше, рази на тиждень, зранку, з інтервалом у 2-3 секунди. Ця технологія може підвищити показники урожаю томатів від 10 до 13 відсотків.

Під час літньо-осіннього етапу вирощування томатів культура ягоди ефективна тільки за своєчасної висадки розсади. Затримка висадки на 1 тиждень призводить до зменшення врожайності 1 м² на 1 кг. Перезріла розсада є ослабленою і не зможе дати повноцінний врожай. Тому, необхідна висадка молоді розсади, не пізніше 30 днів. Літньо-осінній період є ідеальним часом для розповсюдження та розвитку інфекційних хвороб рослин. Оскільки розсаду часто висаджують попередньо не продезинфікувавши ґрунт доводиться використовувати гібридні сорти, що стійкі до таких хвороб, як:

- бура п'ятнистість;
- вертицилез;
- фузаріоз;
- галова нематода.

В дану пору року вирощують гібридні і індетермінантні сорти томатів. Щоб запобігти розвитку слабкої кореневої системи землю, куди планується висадити розсаду, зволожують зарядним поливом, що дозволяє воді потрапити в нижні шари живильного ґрунту. Щоб охолодити рослини у спекотну погоду систему піднімають у верхнє положення. Перед висадкою розсади вносяться лише мінеральні добрива. Коли погода змінюється на осінню – хмарну та дощову – зменшується і кількість поливів, а вентиляції та хворобам відводиться більше часу. Збирання плодів відбувається двічі на тиждень. Щоб ріст і розвиток рослин у літньо-осінній етап відбувалися якнайкраще, необхідно дотримуватись

показників мікроклімату, що наведені в табл. 1.2. Оскільки, наприклад, підвищення температури вище за 32 градуси вже не дозволить пилку запліднити рослину і швіт опадє.

Таблиця 1.2 Оптимальні показники мікроклімату для томатів у літньо-осінній період

Параметр мікроклімату	До плодоношення	Під час плодоношення
Температура під час сонячної погоди, °C	24-26	20-22
Температура під час похмурої погоди, °C	18-20	17-19
Температура вночі, °C	16-18	15-16
Температура ґрунту, °C	18-19	17-18
Вологість повітря, %	60-70	
Рівень CO ₂ у повітрі, %	0,1-0,14	0,14-0,16

Роблячи підсумки можна сказати, що одним з найважливіших параметрів мікроклімату для томатів є вологість і температура. Вже з першого дня висадки росада потребує ретельного контролю мікроклімату, особливо влітку, коли зміни температури є частими і САК мікрокліматом повинна швидко на них реагувати.

1.6 Аналіз процесів об'єкта автоматизації

Система контролю мікроклімату – це поєднання систем, що відповідають за обігрів, полив, вентиляцію, подачу CO₂, досвічування та ін. Для реалізації такої системи використовується контролер із встановленим програмним забезпеченням, що відповідає за ці параметри і дозволяє керувати ними в автоматичному або напівавтоматичному режимах.

Така система дозволяє у значній мірі економити ресурси, оскільки на ріст та розвиток рослин у значній мірі впливає своєю кількістю тепла, світла та радіації

сонце. Для контролю цих показників, по периметру теплиці встановлюють датчики, а зовні – метеовежу.

Залежно від застосованої технології та культури, що вирощується у теплиці, на вибір є декілька моделей контролю мікроклімату, які виконують свою функцію в одному, або декількох блоках теплиці. До недоліків подібних систем можна віднести високий термін окупності.

1.7 Система опалення

Основною складовою теплиці виступає система опалення, на вибір якої впливають насамперед наявність і вартість палива, регіон розташування теплиці, плани експлуатації, об'єм приміщення, теплоізоляція, альтернативні джерела тепла, особливості вирощуваної культури. Задачею системи опалення є забезпечення встановленого температурного режиму, особливо в холодній період, коли зростає необхідність цього. Обігрів також впливає на рівень вологості у теплиці.

Є наступні системи опалення теплиці:

- водяне опалення за допомогою котла (газового, твердопаливного, електричного);
- конвекторний обігрів;
- інфрачервоні обігрівачі;
- пічне опалення;
- газова пушка;
- підземний обігрів (електричний кабель або водяні труби).

Культури, що мають високе стебло (томати, огірки, перець) найліпше обігріваються системою водяного опалення. Це одне з найпопулярніших рішень для зимової теплиці. Така система опалення має водяний носій тепла і може знаходитися у постійному режимі роботи. Використання водяного опалення не вносить змін у рівень вологості повітря, що позитивно впливає на вирощуванні рослин. Для таких систем використовуються котли з великим різноманіттям доступних паливних матеріалів.

Котли, що використовуються у теплицях (рис 1.5), спроможні на підтримку температури дуже великого об'єму води. Це дає змогу нівелювати різкі зміни температури зовні і перепади температури всередині теплиці. Найчастіше у теплиці застосовують систему з розподіленими контурами. Скільки буде використано цих контурів – залежить від вирощуваної культури. Щоб теплове поле було рівним по всій площині теплиці краще застосовувати три контури – один під кривою склуси і два над ґрунтом.



Рисунок 1.5 – Котел для системи опалення теплиці

У місцях, де клімат є м'яким, у якості основної системи опалення може використовуватися повітряний обігрів. Однак, якщо температури у регіоні можуть падати до -20°C , то повітряний обігрів використовують лише в парі з водним.

Основною системою повітряного обігріву (рис 1.6) є повітрянагрівач, повітроводи чи вентилятори.

Така система реалізується двома способами:

1. забір повітря в навколишньому середовищі і його нагрівання системами принудивної вентиляції;

2. нагрівання повітря безпосередньо у самій теплиці.

Якщо ми говоримо о культурі рослин з високим стеблом, то там система рукавів подає тепле повітря до рядів з рослинами. У протилежному випадку тепле повітря циркулює у теплиці від теплогенераторів за допомогою спеціальних вентиляторів.



Рисунок 1.6 – Повітряний обігрів теплиці

1.8 Система зволоження повітря

Полив рослин може здійснюватися шляхом використання наступних систем зрошення:

- крапельний полив;
- туманоутворення;
- підтоплення;
- дощування.

Для будь-якої з цих систем необхідно обладнати іригаційне приміщення (рис. 1.7), де буде виконуватись підготовка води, підготовка живильних розчинів та добрив, а також безпосереднє керування поливом та живленням рослин.



Рисунок 1.7 – Зрошувальне приміщення в теплиці

Щоб покращити дозування живильного розчину система може бути оснащена механізмом, що забезпечує дренажний контроль. Він є необхідним, якщо культура вирощується у гідроніці. Така система сама визначає час і частоту поливу, відповідно до заданого відсотка дренажу. Її можна додати до вже змонтованої системи поливу.

Якщо говорити про дозованому поливі – для нього застосовується крапельне зрошення (рис. 1.8). Подібна система є оптимальною для культури томатів. До її складу входять пластикові трубки, крапельниці та шланги. Ця система забезпечує найкращий полив та подачу живильного розчину до кожної рослини окремо.

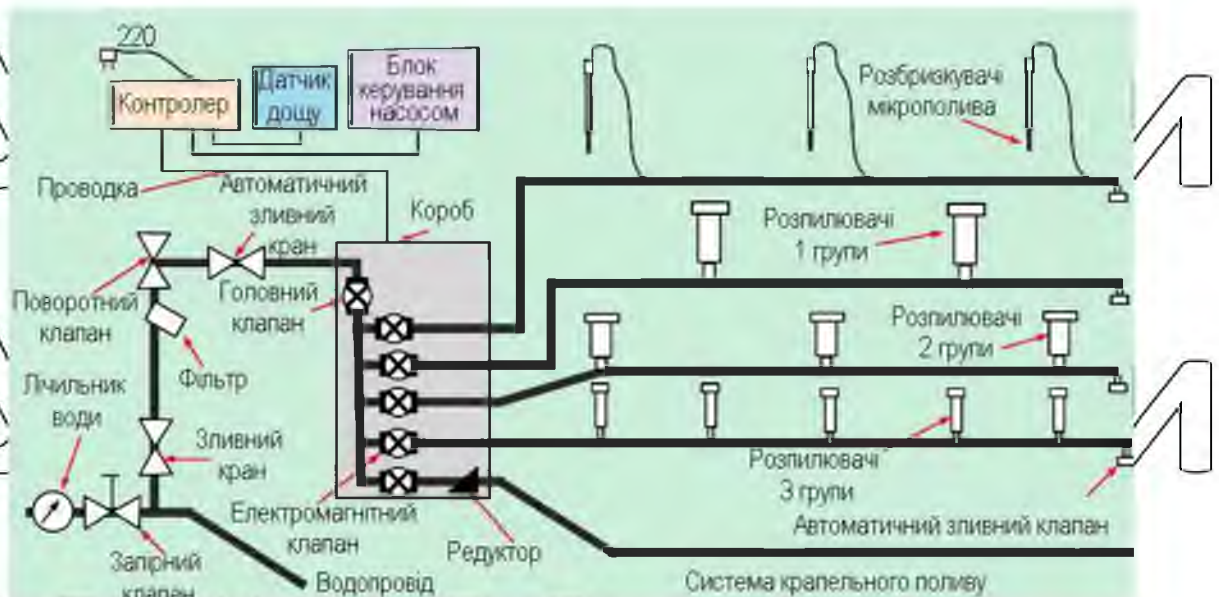


Рисунок 1.8 Технологічна схема крапельного поливу

Для культур з низьким стеблом, таких як зелень, декоративні рослини та розсада, краще застосовувати систему дощування. У ній зрошення відбувається дощем, який створює дощувальний апарат шляхом викидання струменя води і розпилення її на краплі.

Подібні системи мають у своєму складі постійний трубопровід і дощувальний апарат (рис 1.9), який, у свою чергу, пересувається по підстилкою тепличної споруди.



Рисунок 1.9 Дощувальний апарат

Якщо вирощувана культура потребує високого рівня вологості повітря, то у теплиці рекомендується застосовувати систему туманоутворення. У ній вода під високим тиском перетворюється в надзвичайно малі краплини, які розпилюються у повітрі, утворюючи туман. Система туманоутворення (рис. 1.10) складається із форсунок, що встановлені вгорі теплиці. До форсунок вода надходить через трубки. Тиск, необхідний для створення таких дрібних краплин, забезпечують спеціальні насоси.



Рисунок 1.10 – Система туманоутворення

Ще один варіант поливу у закритому ґрунті – система поливу підтопленням. Така система реалізується або у вигляді залитої підлоги, або у вигляді залитих столів (рис. 1.11). Принцип роботи – тимчасовий залив субстрату, де знаходиться коренева система рослини, водою і подальший її відвід. Затоплення і подальший відвід води виконується шляхом застосування насосів, що подають живильні речовини із спеціального резервуару до піддонів з рослинами, або на підлогу. Потім цей розчин відкачується назад до резервуару. Час підтоплення та відводу води забезпечують таймери. Це дозволяє економніше використовувати живильний розчин. Вода, що не була поглинута рослинами відкачується через лотки, канали чи труби і зливається у дренажний колектор, після чого насосом

направляється назовні. Повторне використання води можливе після відповідної фільтрації.

Найчастіше подібні системи використовують для зрошування розсади або декоративних рослин.



Рисунок 1.11 – Столи для поливу підтопленням

Полив рослин, незалежно від системи, відбувається вранці, оскільки рослини мусять ввібрати потрібну кількість вологи, яку будуть потім використовувати протягом дня, а ввечері вже підсохнуть. Якщо рослини залишаться вологими на ніч, то циркуляції повітря і температури буде недостатньо для їх просихання, що може призвести до виникнення хвороб.

1.9 Система вентиляції

Задля підтримки встановлених значень вологості і температури у теплиці потрібно використовувати ще й систему вентиляції (рис. 1.12). Вона забезпечить не лише вентиляцію, а й рециркуляцію повітря. Надходження природнього повітря та вентиляція може забезпечуватися фрамугами на даху або стінках теплиці. Кут відкриття фрамуг залежить від температури повітря ззовні, швидкості вітру та наявності опадів. Керування фрамугами – ще одна задача системи контролю мікроклімату.

Якщо температура ззовні теплиці вища за 15 градусів Цельсія, то фрамуги мають бути відкриті на максимум, задля охолодження рослин. О сімнадцятій годині необхідно збільшити вентиляцію повітря, задля кращого росту рослин, а також закрити фрамуги зі сторони вітру. У дев'ятнадцятій годині відкритими залишають лише фрамуги на даху приміщення, задля збереження тепла всередині. Після заходу сонця фрамуги закриваються повністю.

Щоб повітря в теплиці не застоювалось і температура з вологістю були рівними по всій території застосовують вентилятори рециркуляції. Це дозволяє ліквідувати зони підвищеної вологості та активувати фізіологічні процеси у рослинах.



Рисунок 1.12 – Фрамуги у теплиці
1.20 Система освітлення

Зимом є дефіцит природнього освітлення, тому для рослин необхідно застосовувати системи досвічування (рис. 1.13). До складу такої системи входить лампа, кабель, електричний щит керування, платформа та рефлектори. Для різних культур, вирощуваннях у теплиці, потрібні лампи різної потужності, типу.

та різний період досвічування. Більший світловий день стимулює ріст розсади у мінімальний термін. Системи освітлення призначені підтримувати заданий рівень світла у теплиці, враховуючи кількість сонячної радіації, що надходить ззовні та час доби. Оптимальними вважаються показники на рівні 20000 люкс на метр квадратний протягом 18-20 годин на добу. Для економії енергоресурсів САК мікрокліматом може включати досвічування, залежно від інтенсивності світлового дня.

Світло є одним з найважливіших чинників мікроклімату. Від нього напряму залежить урожайність рослин, оскільки сам ріст рослини керується фотосинтезом. Зважаючи на це, можна сказати, що розвиток рослин пропорційний отриманому ними світлу.



Рисунок 1.13 – Системи досвічування в теплиці

Незважаючи на усю корисність світла для рослин, його надлишок може шкідливо вплинути на їх ріст, спровокувавши сонячні опіки та перегрівання. Для запобігання цьому у літній період використовуються системи затінення рослин.

Одним з варіантів затінення є фарбування поверхні теплиці спеціальними речовинами, що забезпечують сприятливий світловий та тепловий баланс для рослин. Плюсом такого методу є те, що ці речовини можуть бути застосовані на всіх типах покриття теплиці, вони стійкі до опадів та нетоксичні. Видалення відбувається шляхом застосування очисних рідин.

Іншим варіантом затінення слугують системи зашторювання. Складається подібна система з тканини та механізму її натягування (рис. 1.13). Злітку система зашторювання не пропускає надлишкове світло і тепло, а взимку запобігає охолодженню приміщення, економлячи до 30% тепла.



Рисунок 1.14 – Зашторювання теплиці

1.21 Висновки першого розділу

Підсумовуючи, можна сказати, що на температуру в теплиці впливає кількість джерел обігріву та їх вид, надходження сонячного тепла, рівень вологості, циркуляція повітря, матеріал тепличної споруди. Рівень вологості повітря задається системами поливу, провітрювання та зашторювання теплиці.

Одні рослини краще ростуть за підвищеної вологості і високій температурі повітря, другі – при сухому та прохолодному мікрокліматі. Зважаючи на це, клімат у теплиці потрібно задавати, насамперед, залежно від вирощуваної культури. Слід зауважити, що висока вологість може стати причиною виникнення різних хвороб, гнилі та інших грибкових утворень. Для уникнення небезпечного для рослин конденсату полив краще проводити зранку, щоб до

вечору, коли температура нижча і вода випаровується повільніше, рослини вже підсохли.

Системи, що описані вище, у значній мірі підвищують кількісні та якісні показники продукції. Але завжди є вірогідність аварії, що може значно порушити режим підтримки мікроклімату в теплиці. Це призведе до зниження показників

врожаю, або взагалі до його втрати. Задля мінімізації ризиків, що викликані людськими діями, необхідно автоматизувати якнайбільше процесів контролю мікроклімату в теплиці.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Розробка математичної моделі технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції

Щоб забезпечити врожай томатів протягом цілого року, тепличному господарству потрібна система обігріву повітря і ґрунту. Виходячи з цієї потреби буде розроблена математична модель обігріву теплиці.

Приймаємо, що температура повітря t_p однакова на всій площі теплиці, а температура теплоносія t_p дорівнює середньоарифметичному значенню різниці між температурами гарячої води, що подається у труби t_g і води, що виходить з теплиці t_y . Схема потоків тепла може бути представлена у вигляді двох ланок води, котра слугує джерелом тепла, і повітря, котре приймає це тепло.

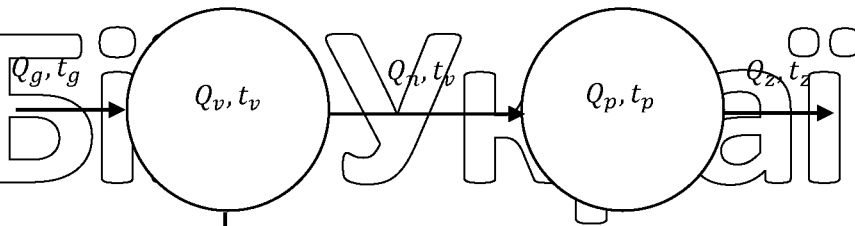


Рисунок 2.1 – Потоків тепла

де t_g - температура води на вході;

t_v - температура води в трубах;

t_y - температура води на виході;

t_p - температура повітря;

t_z - зовнішня температура;

Q_g - тепло введене водою;

Q_v - тепло у воді;

Q_y - тепло виведене водою;

Q_p - тепло перейняте повітрям;

Q_p - тепло у повітрі;

Q_z - втрачене тепло.

У статичному режимі тепло у воді Q_w і тепло у повітрі Q_p не змінюється, тому ми отримуємо рівняння теплового балансу для води і рівняння теплового балансу для повітря теплиці:

$$Q_g - Q_y - Q_n = 0, Q_n - Q_z = 0 \quad (2.1)$$

де Q_g - тепло введене водою;

Q_y - тепло виведене водою;

Q_n - тепло перейняте повітрям;

Q_z - втрачене тепло.

На тепло, що поступає і виходить з системи опалення за секунду впливає теплоємність теплоносія C_v , продуктивність насосу G_n , густина теплоносія ρ_v , температура теплоносія. Кількість тепла у системі опалення також залежить від об'єму теплоносія у системі V_v . Маємо:

$$Q_g = C_v G_n \rho_v t_g,$$

$$Q_y = C_v G_n \rho_v t_y,$$

$$Q_v = C_v V_v \rho_v t_v. \quad (2.2)$$

Тепло в даному приміщенні має залежність від теплоємності повітря C_p , густини повітря ρ_v , температури повітря t_p , і об'єму опалюваного приміщення V_p :

$$Q_p = C_p V_p \rho_p t_p \quad (2.3)$$

Тепло, що переходить від води до повітря теплиці, а потім до навколишнього повітря, розраховуємо за законом Фур'є:

$$Q_n = k_1 F_t (t_w - t_p),$$

$$Q_z = k_2 F_c (t_p - t_z), \quad (2.4)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти теплопередачі через стінки труб системи опалення теплиці і через скло теплиці;

F_t, F_c – поверхні труби і теплиці;

t_z – зовнішня температура. Ці коефіцієнти розраховані по наступній формулі:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_{tp}}}, \quad k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{cz}}}, \quad (2.5)$$

де $\alpha_{vt}, \alpha_{tp}, \alpha_{pc}, \alpha_{cz}$ – коефіцієнти тепловіддачі від води до стінки, від стінки до повітря, від повітря до скла, від скла назовні;

λ_t, λ_c – коефіцієнти теплопровідності труби та скла;

δ_t, δ_c – товща стінки та скла.

Наразі потрібно перейти від статичної моделі до динамічної. З урахуванням попередніх рівнянь буде отримана система диференціальних рівнянь, що визначає зміну кількості тепла в часі у воді та у повітрі. Знаходимо похідні по середній температурі води t_v , і повітря t_p :

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

$$C_p V_p \rho_p \frac{dt_p}{d\tau} = k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z). \quad (2.6)$$

Приймаючи $t_v = (t_g + t_y)/2$, з рівняння отримуємо температуру охолодженої води у теплиці й підставляємо до рівняння (2.6). Далі приводимо рівняння (2.6) до вигляду рівняння Коші:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_v V_v \rho_v}, \quad \frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) + k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p}, \quad (2.7)$$

Також у теплиці протікає обмін вологи. На нього впливає температура, процес фотосинтезу у рослин і інші фактори. Складемо схему для потоків вологи у теплиці. Схема статичного режиму представлена на рис 2.2.

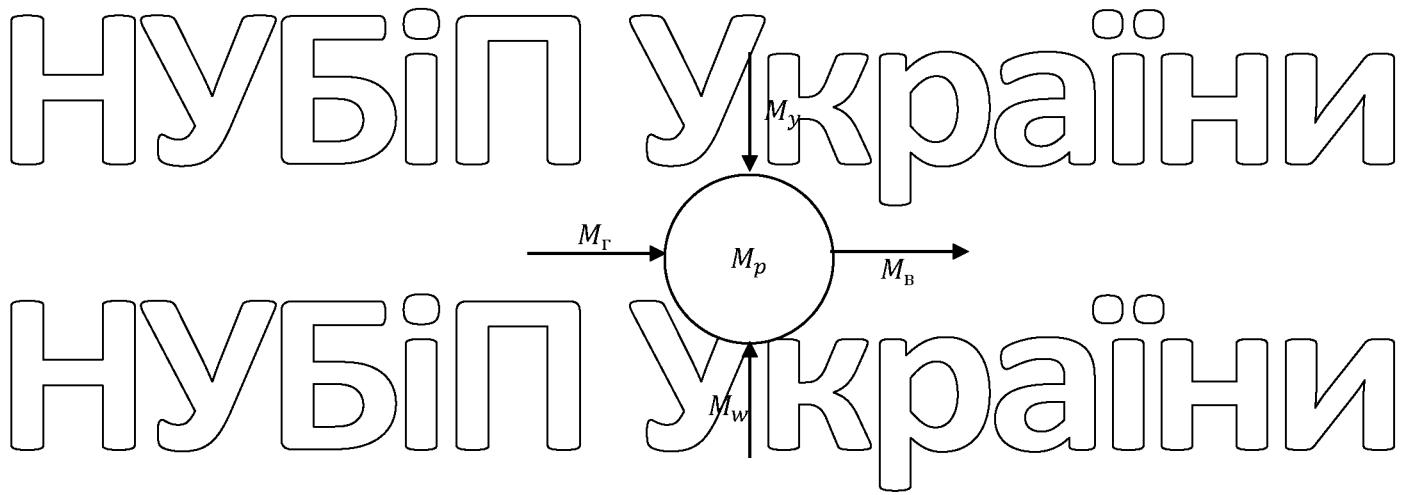


Рисунок 2.2 – Потоки вологи

де M_g – вологість що випаровується з ґрунту;

M_p – вологість у теплиці;

M_w – вологість від розпилюваної води;

M_v , M_B – вологість яку вводить і виводить вентиляційне повітря.

Ефективність підтримки рівня вологи у повітрі визначається дисперсністю рідкої фази й різницею у парціальних тисках. Кількісно вона може бути виражена інтенсивністю, з якою випаровуються краплини, шляхом застосування формули Максвелла:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_k(\tau) \cdot D(\theta) \cdot m_w \cdot [P_H(\theta_w) - P(d)]}{R \cdot T}, \quad (2.8)$$

де m_k , r_k – маса та радіус краплини;

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

m_w , R – молекулярна вага води та газова стала для пари;

T – температура пари;

P_n, P_d – парціальний тиск пари в оточуючому середовищі.

Також рівняння Максвелла записується у виді:

$$\frac{dm_k}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot r_k \cdot D \cdot \frac{\rho_v}{\rho_w} (d_n - d_k) \cdot 10^3, \quad (2.9)$$

де d_c, d_n – вологовміст у повітрі та краплі;

ρ_w – густина повітря.

При протіканні ізобарно-адіабатичного процесу змішування у вологому повітрі отримане рівняння буде мати наступний вигляд.

$$m_v \frac{di_2}{dt} = G_w \cdot i_w - G_v (i_2 - i_1), \quad (2.10)$$

$$m_w c_w \frac{d\theta_w}{dt} = G_v (d_2 - d_1) r + G_w (\theta w_1 - \theta w_2) c_w + G_v c_v (t_1 - t_2), \quad (2.11)$$

$$i_w = \frac{c_w (i_2 - i_1)}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}, \quad (2.12)$$

де i_w – ентальпія води, кДж/кг,

$$i_w = c_w \theta_w = 4.19 \theta_w, \quad (2.13)$$

де θ_w – температура води, °С.

З урахуванням $i_w = a_1 t - b_1 d$, розв'язок для сталого режиму буде у вигляді рівняння:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v a} (4.19 \cdot \theta_w - b \cdot 10^{-3}) + t_1, \quad (2.14)$$

з нього можна визначити – температура повітря під час зволоження розпилюванням води не має залежності від вологовмісту й визначається кількістю повітря, що витрачається, а також температурою води, котру подають до розпилювача.

$$m_v \frac{dM_p}{dt} = G_w \cdot d_w - G_v (M_p - d_1) \quad (2.15)$$

Застосуємо запис, що є наближенням до ентальпії вологого повітря:

$$i_v = c_p t_v + r_0 d_v r_0 = 2500 \quad (2.16)$$

Диференціальне рівняння динамічної зміни вологості у повітрі ми отримаємо з розв'язку рівняння (2.17):

$$\frac{m_v}{G_v} \frac{dM_p}{dt} + M_p = G_w \cdot 10^3 + G_v d_1. \quad (2.17)$$

У підсумку ми отримали математичну модель, яка відображає зміни температури та вологості у теплиці. Її можна описати наступною системою диференціальних рівнянь:

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

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

$$\frac{m_v}{G_v} \cdot \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w \cdot 10^3 + G_v d_f. \quad (2.18)$$

Щоб створити модель об'єкту знайдемо коефіцієнти системи рівнянь (2.5).

Знайдемо коефіцієнти теплопередачі, враховуючи розмірності наших змінних:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0.002}{50} + \frac{1}{15}} = 11.837, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \quad (2.19)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{7.5} + \frac{0.004}{0.74} + \frac{1}{10}} = 4.189, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \quad (2.20)$$

Нагриваючі труби, маючи об'єм 80 м^3 і діаметр 44 мм , матимуть довжину:

$$L = \frac{80}{\frac{\pi \cdot 0.044^2}{4}} = 51613.2, \text{ м}, \quad (2.21)$$

поверхня теплообміну буде рівна:

$$F_t = 51613.2 \cdot \pi \cdot 0.048 = 7933.9, \text{ м}^2. \quad (2.22)$$

Якщо вважати, що наша теплиця прямокутна, то засклена поверхня вираховується за формулою:

$$F_c = 10000 + 500 \cdot 2 \cdot 3 + 20 \cdot 2 \cdot 3 = 13120, \text{ м}^2, \quad (2.23)$$

об'єм повітря всередині неї обраховується за формулою:

$$V_v = 10000 \cdot 3 = 30000, \text{ м}^3. \quad (2.24)$$

Отриманий час запізнення:

$$\tau_c = \frac{80}{4 \cdot \frac{276}{3600}} = 266.7, \text{ с}. \quad (2.25)$$

Введемо додаткові значення коефіцієнтів для зручності створення моделі:

$$a1 = k_1 F_t = 11.837 \cdot 7933.9 = 93913.6,$$

$$a2 = k_2 F_c = 4.189 \cdot 13120 = 54959.7,$$

$$b1 = C_v \rho_v V_v = 100 \cdot 4174 \cdot 80 = 3.353 \cdot 10^8,$$

$$b_1 = C_p \rho_p V_p = 1005 \cdot 1.293 \cdot 30000 = 3.898 \cdot 10^7 \quad (2.26)$$

Розв'язки для рівняння вологості:

$$t_2(\tau) = B - (B - t_{20}) e^{-\frac{\tau}{T_2}}; \quad (2.27)$$

$$d_2(\tau) = A_1 - (A_1 - d_{20}) e^{-\frac{\tau}{T_2}}; \quad (2.28)$$

$$\varphi_2 = \frac{10^5 \cdot dz}{627(232.7t_2 + 2394)} \quad (2.29)$$

де

$$T_2 = \frac{m_p}{G_p};$$

$$B = \frac{G_w}{G_v C_p} (4.19 \cdot \bar{\theta}_w - r_0) + t_1; \quad (2.21)$$

$$A_1 = \frac{G_w}{G_v} 10^3 + d_1. \quad (2.22)$$

Перехідний процес зволоження повітря дрібними краплями води описують наступні залежності: $t_2(\tau)$ і $d_2(\tau)$.

Представимо математичну модель у операторному вигляді:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dt_v}{d\tau} + t_v = k_1 t_g + k_2 t_p \\ T_2 \frac{dt_p}{d\tau} + t_p = k_3 t_v - k_4 t_z \\ T_3 \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = k_5 G_w + k_6 G_v - k_7 t_z \end{cases} \quad (2.23)$$

де коефіцієнти передачі і сталі часу розраховуються за наступними формулами:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{C_v V_v \rho_v}{k_1 F_1}; T_2 = \frac{C_p V_p \rho_p}{k_2 F_2}; T_3 = \frac{m_v}{G_v}; k_1 = \frac{2}{V_v}; k_2 = \frac{k_1 F_1}{C_v V_v \rho_v}; k_3 = \frac{k_1 F_1}{C_p V_p \rho_p}; k_4 \\ &= \frac{k_2 F_2}{C_z V_z \rho_z}; k_5 = d_w; k_6 = d_1; k_7 = \frac{G_v}{F_c}. \end{aligned}$$

Представлена система буде промодельована у MATLAB Simulink. За допомогою даного пакету побудуємо структурну схему (рис 2.3) мат. моделі. Щоб визначити динамічні властивості об'єкту потрібно отримати розгінні характеристики за каналом регулювання вологості та за каналом регулювання температури. Реалізується це шляхом подачі на вхід стрибкоподібного сигналу, величина якого рівна номінальному значенню управляючого параметра. З рівнянь можна побачити, що керуючою дією для підтримки температури у

теплоти слугує постачання теплоносія (гарячої води) до трубопроводу t_g , а для регулювання температури керуюча дія полягає у подачі стисненого зволоженого повітря G_v . У ролі збурюючої дії виступає температура ззовні t_z .

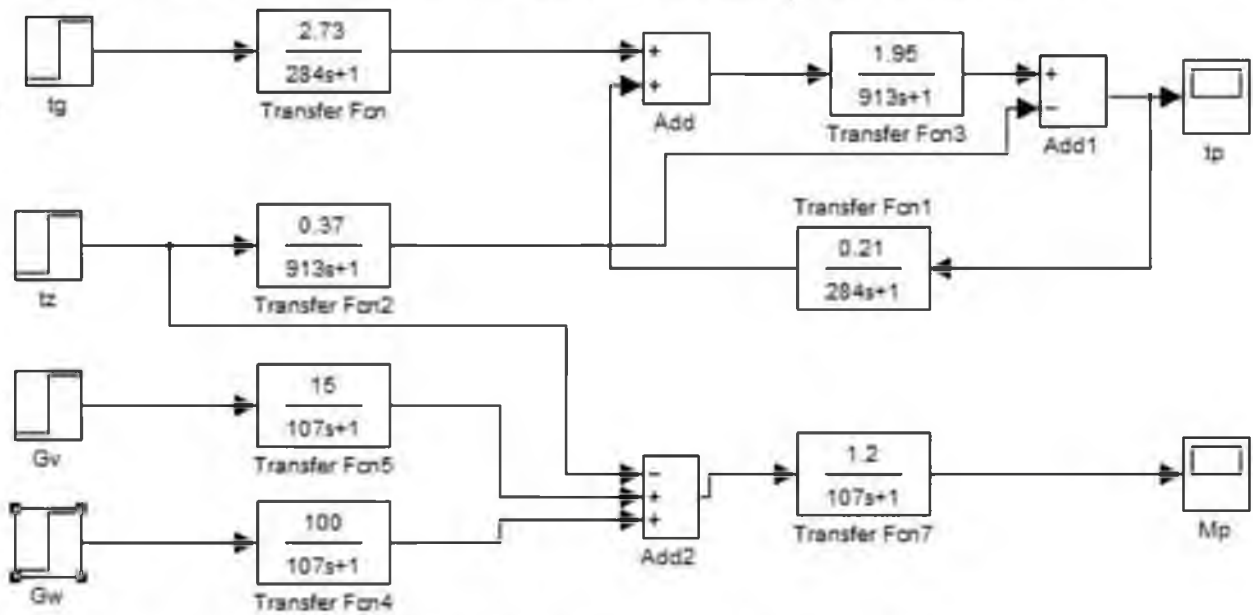


Рисунок 2.3 – Математична модель об'єкта

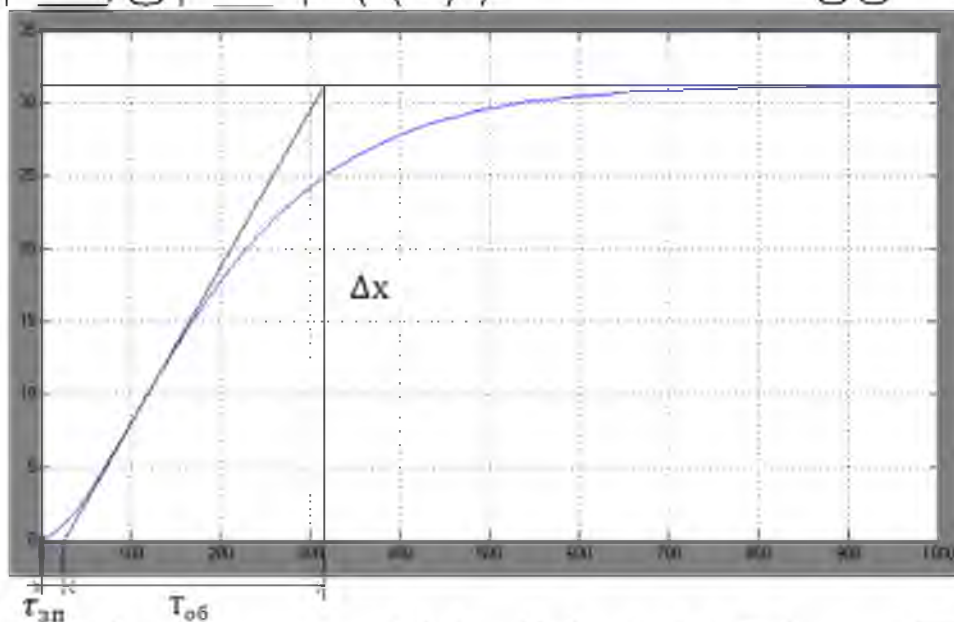


Рисунок 2.4 – Крива розгону по каналу регулювання вологості

НУБІП України

Вхідний сигнал $\Delta U = 35 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$, отже визначаємо динамічні властивості нашого об'єкту за каналом вологи (рис. 2.4).

$$\tau_{\text{зн}} = 27\text{с}, T_{\text{об}} = 27\text{с}, K_{\text{об}} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{31.5}{35} = 0,9.$$

$$W_{\text{ou}}(s) = \frac{0.9}{310s + 1} e^{-0.27s}.$$

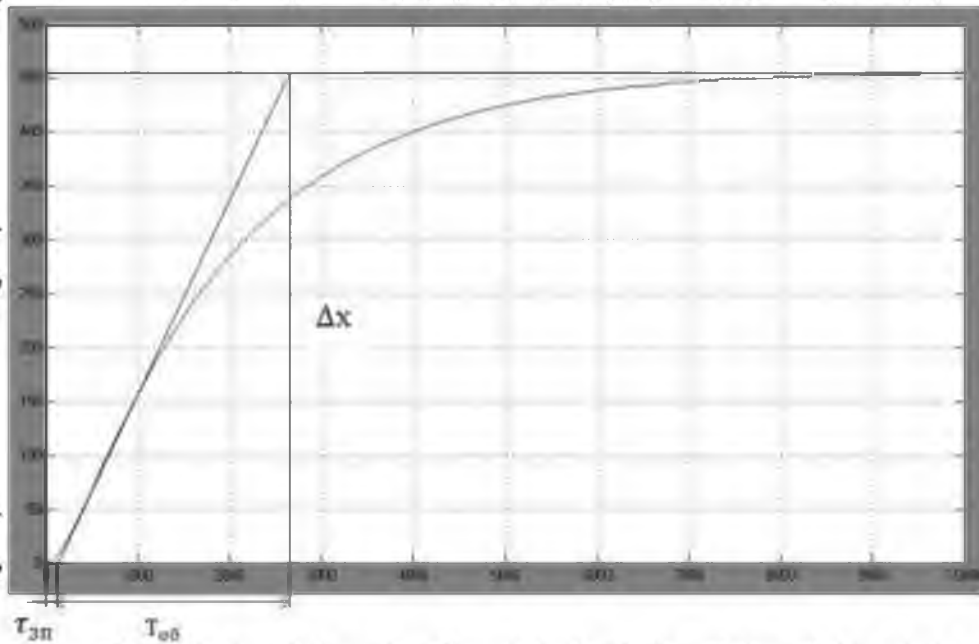


Рисунок 2.4 – Крива розгону по каналу регулювання температури

Вхідний сигнал $\Delta U = 90^\circ\text{C}$, отже визначаємо динамічні властивості нашого об'єкту за каналом температури (рис. 2.5):

$$\tau_{\text{зн}} = 100\text{с}, T_{\text{об}} = 2500\text{с}, K_{\text{об}} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{455}{90} = 5,05$$

$$W_{\text{ou}}(s) = \frac{5.05}{2500s + 1} e^{-0.100s}.$$

2.2 Розробка САК мікрокліматом у теплиці

Покращення рівня автоматизації підприємства та підтримка його на актуальності — заорука конкурентоспроможності. Автоматизовані системи дозволяють збільшити технічну та економічну ефективність.

Сучасна САК мусить забезпечувати роботу промислового обладнання без перебоїв, а також керувати технологічними параметрами із відповідною точністю. У магістерській роботі розроблена САК мікрокліматом із

застосуванням МПК та ПК. Така система дозволить провести контроль керуванням температурою, вентиляцією та рівнем вологості. Керування може здійснюватися у автоматичному режимі управління за допомогою МПК, або у ручному з щита керування, шляхом використання ручних задавачів та ключів.

Надійність системи у великій мірі залежить від обраних засобів та приладів.

Основні фактори, залежно від яких обираються засоби та прилади:

- фінансові можливості;
- особливості ТП;
- особливості середовища;
- вимоги до надійності;
- вимоги до безпеки.

Центральним пристроєм системи автоматизації є мікроконтролер. Його входи сприймають сигнали про протікання технологічних процесів, а виходи видають керуючі сигнали. До входів МПК підключають датчики, а до виходів – ВМ (виконавчий механізм) і РО (регулюючий орган).

Мікроконтролер, як основа системи автоматизації, має переваги, відносно локальних технічних способів керування. Алгоритм у системі управління створюється шляхом застосування програми, яка розробляється, враховуючи технічні вимоги до всієї системи. Через це є можливість застосування оптимальних алгоритмів керування.

Після аналізу даного процесу ставляться такі вимоги, що до обрання засобів автоматизації:

- стійкість до шкідливих середовищ;
- підтримка трубопроводів різних розмірів.

Обраний мікроконтролер належить фірмі Schneider Electric. Модель Modicom M221.

Щоб обрати датчики і ПП (первинні перетворювачі) я керувався такими факторами, як:

1. ПП повинен відповідати діапазону значень ТП (технологічного процесу).

Датчики підбрані так, щоб номінальне значення було у діапазоні. Усі ВМ забезпечують необхідну пропускну здатність.

2. Клас точності засобів автоматизації не повинен бути нижчим за 0,5%.

3. Монтажні розміри мусять відповідати комунікації та апаратам по місцю встановлення.

4. Матеріали засобів автоматизації мають бути стійкими до шкідливих середовищ, у яких буде використовуватись система.

Усі обрані ПП для зручності підключення до мікроконтролера мають уніфікований сигнал. Датчики подають сигнал 4-20 мА. Вторинні засоби

обирались відповідно до зазначених вище діапазонів і точності. Окрім цього, прилади мають сприймати сигнали від ПП. Для контуру аналогового

регулювання обирались прилади з кнопкою перемикання режимів і потенціометром, як ручним задавачем. Також на обрані ВМ та РО впливали

діаметри проходу клапанів та трубопроводів. Клапани мають бути стійкими до шкідливих середовищ. Сигнали двигунів і клапанів співпадають із сигналом

мікроконтролера, а для потужних двигунів та елекроклапанів застосовується магнітний пускач.

2.3 Функціональна схема САК мікрокліматом

Розроблена система здійснює регулювання по ПІ-закону за параметрами мікроклімату, індикацію ТП (технологічних параметрів), контури керування електродвигунами і електроклапанами.

Мікроклімат у теплиці регулюється такими каналами: температура теплоносіїв верхнього й нижнього рівнів, вологість повітря верхнього й нижнього рівнів, а також кут нахилу фрамуг на даху.

Усі сприймаючі елементи надсилають інформацію на мікроконтролер, який її обробляє і відсилає сигнали управління на певний РО або ВМ, якщо існують відхилення від заданих у програмі показників.

Функціональну схему САК мікрокліматом в теплиці представлено на рис.

2.6

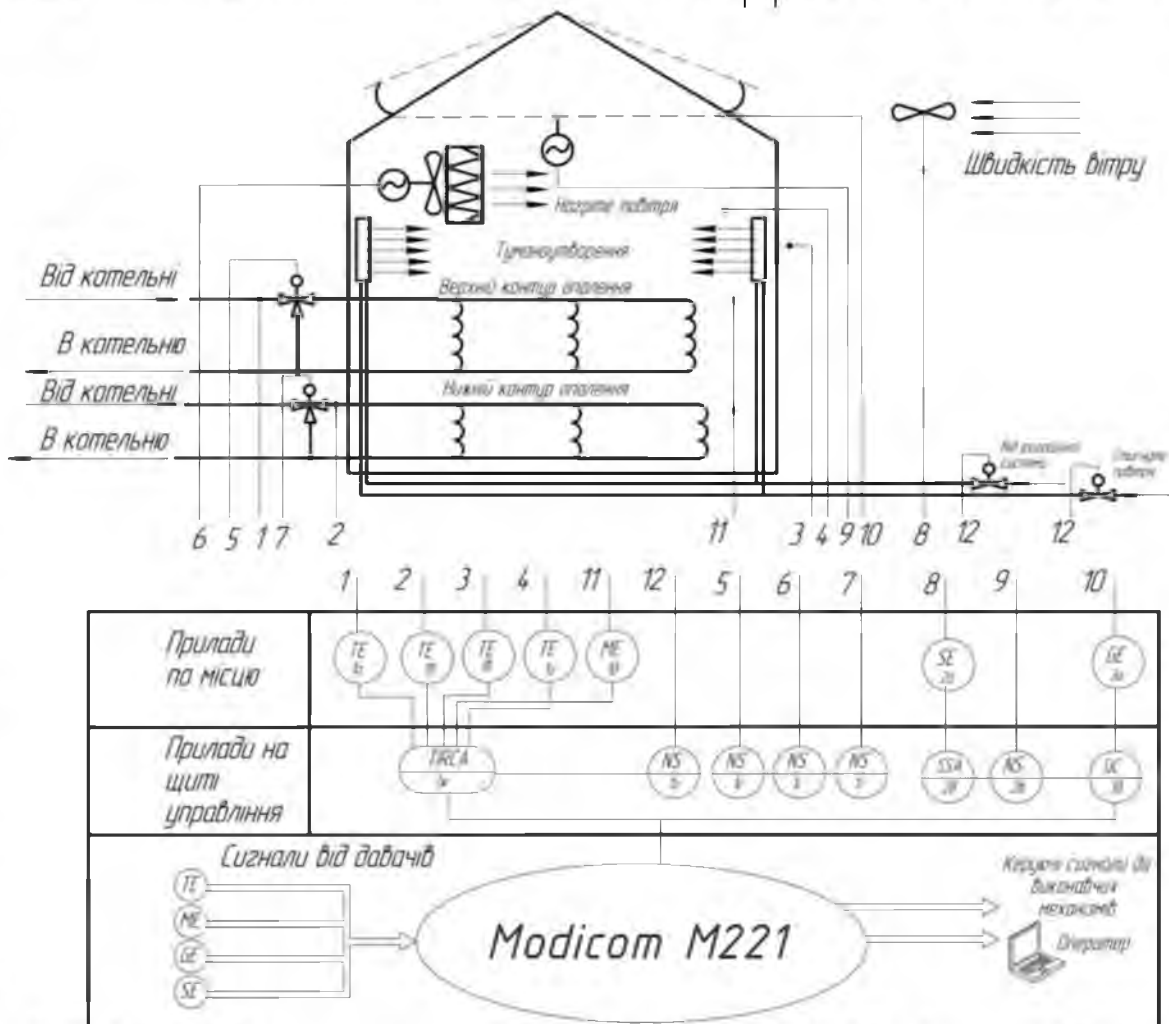


Рисунок 2.6 – Функціональна схема

2.4 Обрання датчиків

Вимоги що до використовуваних датчиків:

- нелінійність не більше за $0,1\% \pm 3\%$;
- чутливість на високому рівні;
- стабільність;
- швидкодія;
- стійкість до шкідливого середовища;
- мінімальний вплив на контрольований параметр;
- доступність монтажу.

Різновид ВП (вимірювального перетворювача) визначається залежно від параметру, що він контролює у об'єкті управління та залежно від умов його роботи. Типорозмір ВП визначають після обрання усіх інших елементів регулятора, відповідно до каталогів.

Для датчика необхідно, щоб контрольований параметр змінювався у межах діапазону охоплення цього пристрою. Також важливим параметром для датчиків є постійна часу T , котра характеризує швидкодію приладу.

Наша система має забезпечувати діапазон температури повітря у межах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$. Гарним вибором для таких меж буде мідний термометр опору ТСМ-50М. Його межі вимірювання складають від -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$, а інерційність рівна 15 секундам. Щоб перетворювач не вносив динамічну похибку при вимірюванні температури, постійна часу T_{CE} має бути принаймні у десять разів менша від значення постійної часу ОУ T_{OU} . Для теплиці це значення становить 2500 секунд, отже постійна часу перетворювача не повинна перевищувати $\frac{T_{OU}}{10} = T_{CE} = \frac{2500}{10} = 250 \text{ с}$. Обраний датчик задовольняє цю умову, оскільки значення постійної часу для нього рівне 15 секундами.

Зовнішній вигляд датчика та його характеристика представлені нижче (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд датчика температури ТСМ-50М і його характеристика

Термометр опору представляє собою інерційну ланку, його передатна функція виглядає наступним чином:

$$W(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \quad (2.24)$$

Передатна функція для ТСМ-50М обчислюється так:

$$m_d \cdot C_d \frac{d\Delta\theta_d}{dt} = \alpha_d \cdot F_d \cdot (\Delta\theta_{\text{пов}} - \Delta\theta_d), \quad (2.25)$$

де m_d – маса кг;

C_d – теплоємність, кДж/кг;

θ_d – температура, °С;

α_d – коефіцієнт теплопередачі, кДж/кг;

F_d – поверхня м²; $\Delta\theta_d$ – температура зовнішнього повітря, °С.

$$R_d = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta_d), \quad (2.26)$$

де R_d – опір датчика, Ом;

R_0 – опір датчика при 0 °С;

α – коефіцієнт міді, рівний $4.26 \cdot 10^{-3}$.

У відхиленнях з рівняння (2.26) одержуємо (2.28):

$$\Delta R_d = \alpha \cdot R_d \cdot \Delta\theta_d, \quad (2.27)$$

$$\Delta\theta_D = \frac{\Delta R_D}{\alpha \cdot R_0} \quad (2.28)$$

Після підстановки (2.25) у (2.26) й його перетворення отримаємо:

$$\frac{m_D \cdot C_A}{\alpha_D \cdot F_D} \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\theta_D \quad (2.29)$$

У канонічному вигляді це рівняння представляється наступним чином:

$$T \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = k \cdot \Delta\theta_D \quad (2.30)$$

$$T = \frac{m_D \cdot C_A}{\alpha_D \cdot F_D}; \quad k = \alpha \cdot R_0 \quad (2.31)$$

У нашому випадку $k = 4.26 \cdot 10^3 \cdot 50 = 0.21$, а $T = 15$, отже передаточна

функція матиме наступний вигляд:

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

Вимірювання вологості повітря відбувається через датчик MiniCap 2 (рис.

2.9). Залежно від зміни вологості повітря у датчика змінюється електрична ємність чутливого елемента. До складу датчика входить плівка, що покрита шаром золоту, це дозволяє їй служити діелектриком для плоского конденсатора.



Рисунок 2.9 - MiniCap 2

Таблиця 2.1 Технічні характеристики датчика вологи

Параметр	Значення
Межі вимірювання вологи	від 0 до 100%
Межі робочих температур	від -40 до +180 °C
Діапазон частот	від 10 до 200 кГц
Час відгуку	30 секунд
Лінійність	±1%
Стабільність	±2%

Загальний вигляд передаточної функції даного датчика наступний:

$$W_{CE}(s) = \frac{K_{CE}}{T_{CE}s + 1}$$

де $K_{CE} = \frac{\Delta P}{\Delta Y}$;

K_{CE} – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента;

T_{CE} – постійна часу сприймаючого елемента.

Отже, передаточна функція матиме наступний вигляд:

$$W_{CE}(s) = \frac{0.181}{30 \cdot s + 1}$$

2.5 Обрання регулюючого органу

Щоб обрати регулюючий орган необхідно провести наступні розрахунки.

Ми знаємо наступні параметри: $\gamma = 1 \frac{т}{см^3}$ – об'ємна маса води; $\nu = 0.2 с$ –

в'язкість; $Q_{max} = 375 \frac{м^3}{год}$ – витрати; $t_1 = t_2 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура; $P_1 =$

$10 \frac{кг}{см^2}$, $\Delta P_c = 10 \frac{кг}{см^2}$, $\Delta P_{лmax} = 4 \frac{кг}{см^2}$ – перепади тисків. Нижче (рис 2.10)

представлені витратні характеристики регулюючих клапанів.

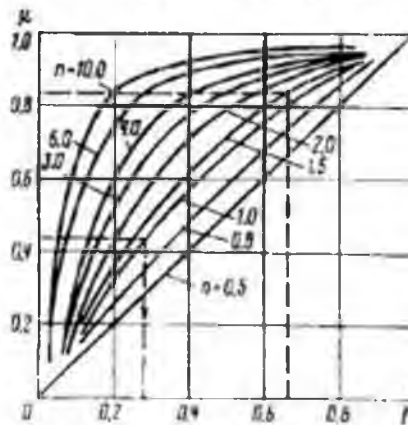


Рисунок 2.10 – Витратні характеристики регулюючих клапанів

$$K_{vmax} = Q_{max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{min}}} = Q_{max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P_{лmax}}} = 375 \sqrt{\frac{1}{10 - 4}} \approx 153 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.32)$$

Поправки на в'язкість можна не робити, зважаючи на (2.33):

$$E = 420 \frac{Q_{max}}{\nu} \sqrt{K_{vmax}} = 420 \frac{375}{0.2} \sqrt{153} = 9743797.04 > 1000 \quad (2.33)$$

Діаметр клапана знаходимо у довідниковій літературі $D_{\text{кл}} = 125 \text{ мм}$, $K_{\text{УВМ}} = 250 \text{ м}^3/\text{год}$. $K_{\text{УВМ}} \geq 1.2 \cdot K_{\text{Уmax}} = 1.2 \cdot 153 = 183.6$ задовольняє умові, отже цей клапан підходить.

Щоб віднайти робочу ділянку на витратній характеристиці для нашого клапану (рис 2.11) скористаємось такими формулами:

$$K_{\text{УЛ}} = Q_{\text{max}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{Лmax}}}} = 500 \sqrt{\frac{1}{4}} = 250 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.34)$$

$$K_{\text{УЛ}} = Q_{\text{max}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{Лmax}}}} = 375 \sqrt{\frac{1}{4}} = 187.5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.35)$$



Рисунок 2.11 – Регулюючий клапан

Наступним кроком є визначення перепадів тиску на РО.

$$n = \frac{K_{\text{УВМ}}}{K_{\text{УЛ}}} = \frac{250}{187.5} = 1.33. \quad (2.36)$$

Для ВМ перепад тиску буде рівний:

$$\Delta P_{\text{ВМ}} = \frac{\Delta P_{\text{с}}}{1+n^2} = \frac{10}{1+1.33^2} = 3.717 \text{ кг/см}^2 \quad (2.37)$$

Витрати через ВМ у випадку перепадів тиску будуть наступні:

$$Q_{\text{ВМ}} = K_{\text{УВМ}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ВМ}}}{\gamma}} = 250 \sqrt{\frac{3.717}{1}} = 481.98 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.38)$$

Далі знайдемо відносні max та min витрати для рідини:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{BM}} = \frac{375}{481.98} = 0.778; \quad (2.39)$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{BM}} = \frac{250}{481.98} = 0.519. \quad (2.40)$$

Витратна характеристика для виконавчого механізму вибирається із графіка, зображеного на (рис. 2.10). У відповідності з нею хід плунжера $l_{min} = 0.3$ та $l_{max} = 0.52$.

Отже, маємо наступне відношення:

$$k_{PO} = \frac{\Delta \mu}{\Delta l} = \frac{\mu_{max} - \mu_{min}}{l_{max} - l_{min}} = \frac{0.778 - 0.519}{0.52 - 0.3} = 1.18. \quad (2.41)$$

Передаточна функція для регулюючого клапана представлена у вигляді інтегруючої ланки:

$$W_{PO}(s) = \frac{k_{PO}}{s} = \frac{1.18}{s}. \quad (2.42)$$

Відношення таких величин, як перепади тиску на клапані і перепади тиску у самій системі мають діапазон $\beta_{max} = 0.9 \dots \beta_{min} = 0.62$. Це відповідає перепадам

$$\Delta P_{max} = \beta_{max} \cdot \Delta P_c = 0.9 \cdot 10 = 9 \text{ кг/см}^2, \quad (2.43)$$

$$\Delta P_{min} = \beta_{min} \cdot \Delta P_c = 0.62 \cdot 10 = 6.2 \text{ кг/см}^2. \quad (2.44)$$

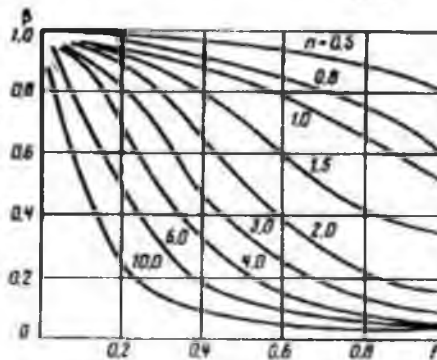


Рисунок 2.12 — Перепади тиску на виконавчому механізмі

2.6 Обрання виконавчого механізму

При обранні ВМ до клапанів необхідно врахувати таке значення, як реактивний повертальний момент. Він виникає через різницю у швидкостях потоку через нижню та верхню щільності тертя у підшипниках.

$$M_{Пов} = 0.07 \cdot \Delta p \cdot D^3 \quad (2.45)$$

де Δp — значення перепадів тиску на поворотних заслінках;

D – діаметр диску.

Враховуючи, що $\Delta = \Delta P_{max} - \Delta P_{min} = 9 - 5.2 = 2.8 \text{ кг/см}^2$ та $D = 12.5 \text{ см}$

можна вирахувати наступне:

$$M_{пов} = 0.07 \cdot 2.8 \cdot 12.5^3 = 3.828 \text{ Нм.}$$

Переставний момент ВМ обираємо вдвічі більшим, ніж реактивний:

$$M_{ВМ} = 2M_{пов} = 2 \cdot 3.828 = 7.656 \text{ Нм} \quad (2.46)$$

$$P_{2ном.} = \frac{n_c \cdot (1 - s_{ном.}) \cdot M_{ВМ}}{9570},$$

$$n_c = 1500;$$

$$s_{ном.} = 0.08;$$

$$P_{2ном.} = \frac{1500 \cdot (1 - 0.08) \cdot 7.656}{9570} = 1.104 \text{ кВт.} \quad (2.47)$$

На роль ВМ обираємо електродвигун АІР80В4 (рис 2.13). Робоча напруга –

220/380В, частота – 50 Гц.



Рисунок 2.13 – Виконавчий механізм

Передаточна функція для нього буде мати наступний вигляд

$$W_{ВМ}(s) = \frac{K_{ВМ}}{T_{\mu} \cdot s}$$

$$k_{ВМ} = \frac{t_{max}}{220/50} = 18.182,$$

$$T_{\mu} = 210 \text{ с.}$$

$$W_{\text{ВМ}}(s) = \frac{18.182}{210.7s}$$

2.7 Обрання регулятора

У якості регулятора для досліджуваної системи було обрано Modicon M221 фірми Schneider Electric (рис. 2.14). Він здатен забезпечити керування усіма підсистемами, що встановлені у теплиці, а саме вентиляції, підтримки температури та підтримки рівня вологості.



Рисунок 2.14 - Modicon M221

Цей ПЛК (програмований логічний контролер) здатен керувати швидкістю обертання вентиляторів на 6 ступенях, що дозволяє найточніше забезпечити необхідний рівень температури та циркуляції повітря. Щоб забезпечити ще більшу точність до системи може бути під'єднано пристрій АСС – вимірювальний вентилятор. Інформація від датника температури дозволяє ПЛК контролювати її значення, вмикаючи або вимикаючи систему обігріву. Сигнали від датників вологості дозволяють своєчасно вмикати систему туманоутворення для підтримки значення вологи повітря на потрібному рівні.

Декілька контролерів можна об'єднати між собою та під'єднати до центрального комп'ютера, задля зручності моніторингу та контролю заданих параметрів. З'єднання відбувається шляхом використання шини RS-485.

На закон регулювання, що буде застосовано, впливають такі чинники, як динамічні властивості об'єкта та показники якості регулювання, відповідно технологічним вимогам.

Яким буде характер дії для регулятора обирається, відповідно до відношення часу запізненні і постійної часу ОК. Закони керування наведені нижче (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Відношення часу запізнення і постійної часу ОК

τ_0/T_0	Закон керування
< 0.2	Позиційний
$0.2 \dots 1.0$	Безперервний
$1.0 <$	Імпульсний

Відношення динамічних властивостей ОК по каналу температури рівне

$\tau_0/T_0 = 100/2500 = 0.04$, а по каналу вологості - $\tau_0/T_0 = 270/288 = 0.09$, тому рекомендовано обрати позиційний закон регулювання, проте для збільшення якості краще обрати безперервний.

Коли ми обираємо закон регулювання, то надаємо перевагу найякіснішому безперервному керуванню. Враховуючи, що ПІ регулятор здатен забезпечити високу точність регулювання, обираємо його.

Щоб визначити параметри налаштування ПІ регулятора звернемося до залежностей, для визначення оптимальних настройок регуляторів. Для досліджуваного об'єкта обираємо перехідний процес із 20% перерегулюванням, оскільки об'єкт є статичним.

Налаштування для регулятора температури виглядають наступним чином:

$$\tau_{зп} = 100\text{с}, T_{об} = 2500\text{с}, k_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{455}{90} = 5.05;$$

$$k_p = \frac{0.7}{k_{об} \cdot \tau_{зп}/T_{об}} = \frac{0.7}{5.05 \cdot 100/2500} = 3.47;$$

$$T_{ii} = 0.7 \cdot T_{об} = 0.7 \cdot 2500 = 1750$$

Налаштування для регулятора вологості виглядають наступним чином:

$$T_{зп} = 27 \text{ с}, T_{об} = 310 \text{ с}, K_{об} = \frac{\Delta \kappa}{\Delta U} = \frac{31.5}{3.5} = 0.9$$

$$k_p = \frac{0.7}{K_{об} \cdot \tau_{зп} / T_{об}} = \frac{0.7}{0.9 \cdot 27 / 310} = 8.33$$

$$T_{it} = 0.7 \cdot T_{об} = 0.7 \cdot 310 = 202$$

2.8 Створення функціональної схеми та структурно-алгоритмічної схеми

Перейдемо до створення функціональної структурної схеми (рис. 2.16; рис. 2.17). Так називають схему, що зображує функціональні елементи у системі та зв'язки, наявні між цими елементами. Елементи на ній позначаються у вигляді прямокутників із буквами, що відображають скорочену назву зображуваного елемента. Зв'язки показуються лініями, напрямки зв'язків показуються лініями.

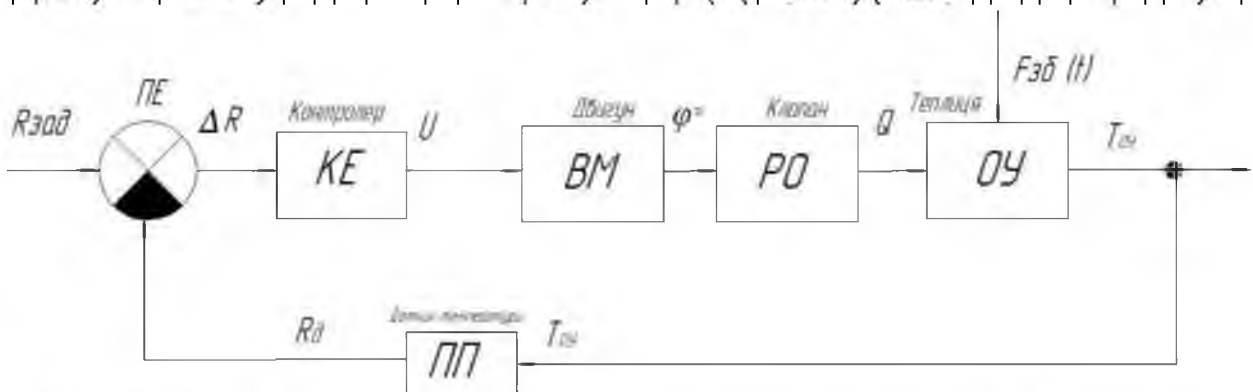


Рисунок 2.16 – Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування по каналу температури

Елементи, зображені на схемі:

- $R_{зад}$ – температура, що задається;
- $\Delta R = R_{зад} - R_{об}$ – температура, що вимірюється;
- KE – керуючий елемент, представлений регулятором;
- U – керуюча напруга;
- BM – виконавчий механізм, представлений двигуном;
- PO – регулюючий орган, представлений клапаном;
- OU – об'єкт управління, представлений теплицею;
- $F_{зд}$ – зовнішні збурення, що діють на об'єкт управління;

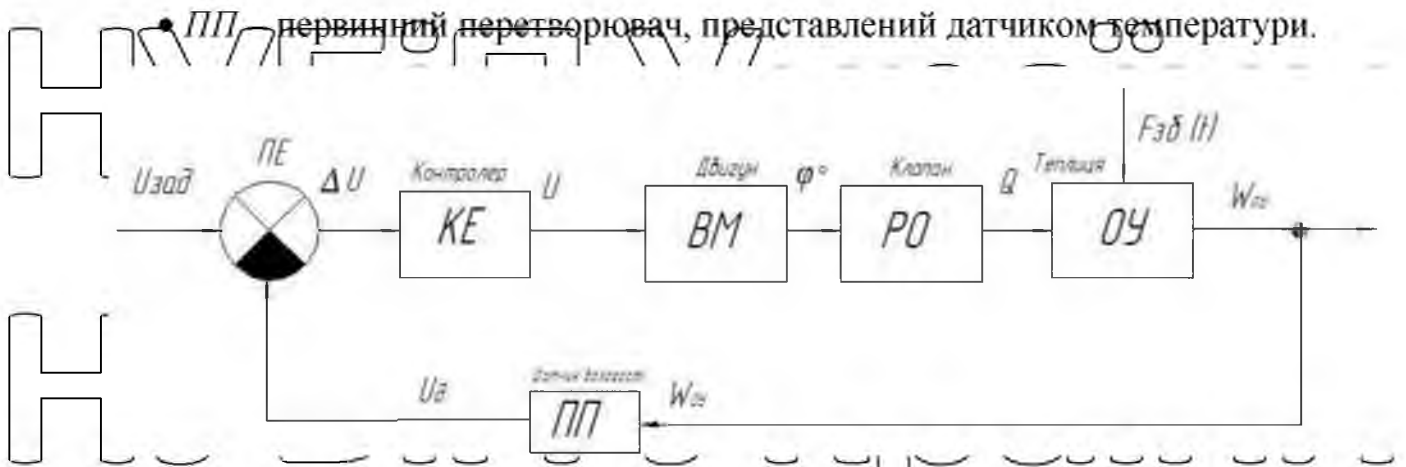


Рисунок 2.17 – Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування по каналу вологості

Елементи, зображені на схемі:

- $U_{зад}$ – напруга, що задається;
- $\Delta U = U_{зад} - U_{зад}$ – напруга, що вимірюється;
- KE – керуючий елемент, представлений регулятором;

- U – керуюча напруга;
- BM – виконавчий механізм, представлений двигуном;
- PO – регулюючий орган, представлений клапаном;
- OU – об'єкт управління, представлений теплицею;

- $F_{зд}$ – зовнішні збурення, що діють на об'єкт управління;

- $ПП$ – первинний перетворювач, представлений датчиком температури

САК – структурно-алгоритмічна схема, що представляє зображення динамічних властивостей, котрі наявні у функціональних елементів в системі, та описує математично модель процесу керування. На ній можна побачити (рис. 2.18; рис. 2.19), які типові динамічні ланки наявні у системі, та як вони з'єднані між собою.

САК складають за допомогою функціональної схеми, а також передаточних функцій елементів, наявних на ній. Зображення елементів на схемах однакове.

Після аналізу завдання можна отримати наступні передаточні функції для об'єктів системи:

1. ОУ за каналами температури і вологості:

$$W_{Oy}(s) = \frac{5.05}{2500s + 1} e^{-s100};$$

2. Регулятор:

$$W_{Oy(t)}(s) = 3.47 + \frac{1}{1750 \cdot s};$$

3. Датчиків температури і вологості:

$$W_{Oy(w)}(s) = 8.33 + \frac{1}{202 \cdot s};$$

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

4. Виконавний механізм:

$$W_W(s) = \frac{0.181}{30 \cdot s + 1}$$

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

5. Регулюючий орган:

$$W_{PO}(s) = \frac{k_{PD}}{s} = \frac{1.18}{s}$$

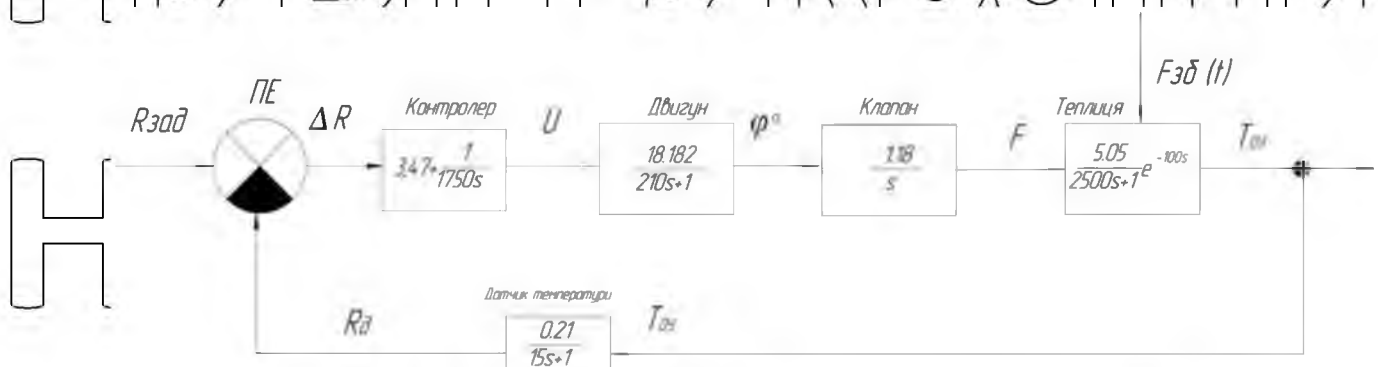


Рисунок 2.18 — Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування по каналу температури

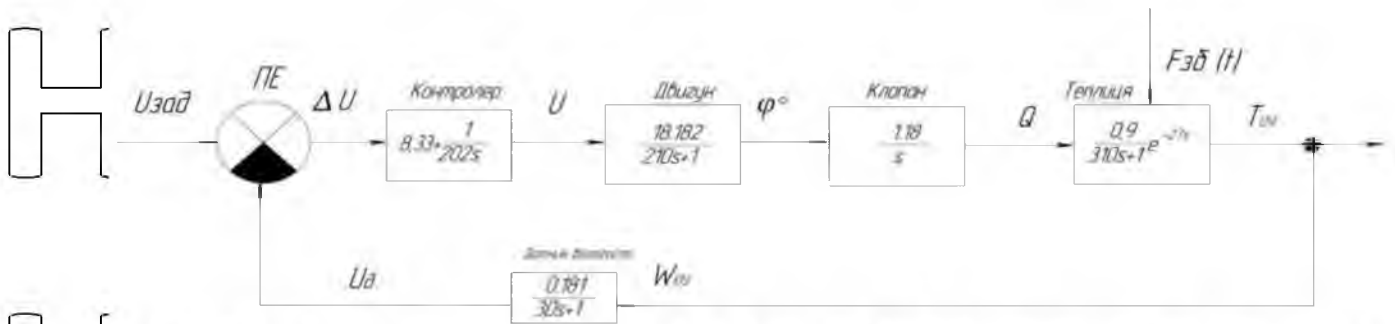


Рисунок 2.19. Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування по каналу вологості

2.9 Дослідження системи на стійкість та якість регулювання

Маємо наступні передаточні функції за каналом регулювання температури та вологості:

$$W_{роз(t)}(s) = W_{KE(t)}(s) \cdot W_{BM}(s) \cdot W_{PO}(s) \cdot W_{CE(t)}(s) \cdot W_{OY(t)}(s);$$

$$W_{роз(w)}(s) = W_{KE(w)}(s) \cdot W_{BM}(s) \cdot W_{PO}(s) \cdot W_{CE(w)}(s) \cdot W_{OY(w)}(s).$$

Для дослідження на стійкість скористаємося АФЧХ (амплітудно-фазова частотна характеристика) (рис. 2.20; рис. 2.21). Вона показує зміну амплітуди і фази вихідного сигналу в залежності від значення частоти вхідного маючи одиничну амплітуду. Щоб створити АФЧХ для нашої системи використаємо програмне середовище MATLAB & Simulink.

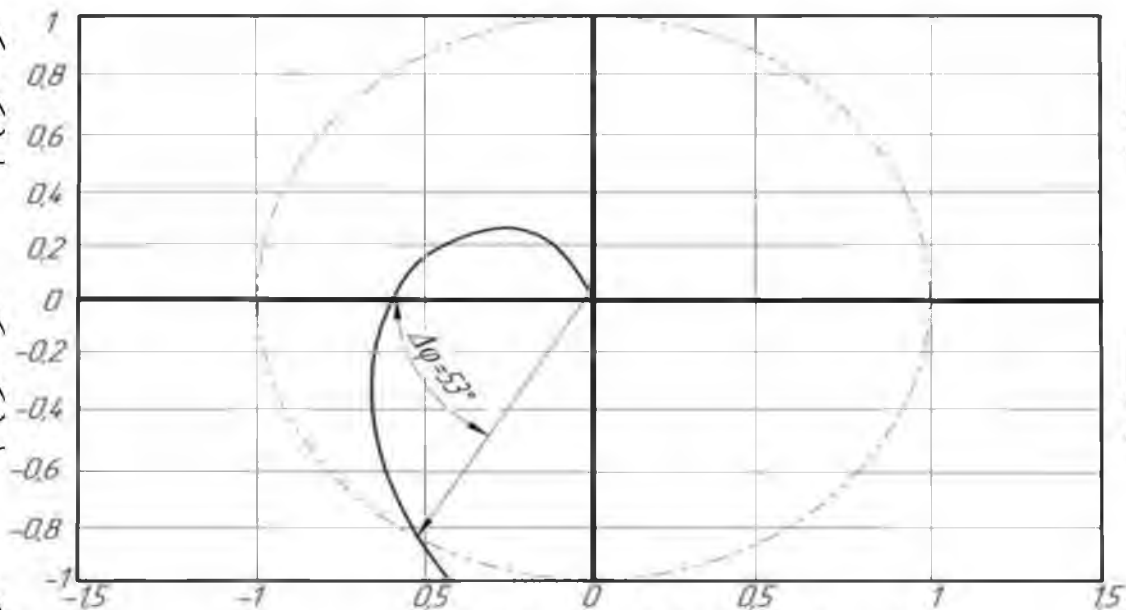


Рисунок 2.20. Голограф Найквіста за каналом регулювання температури

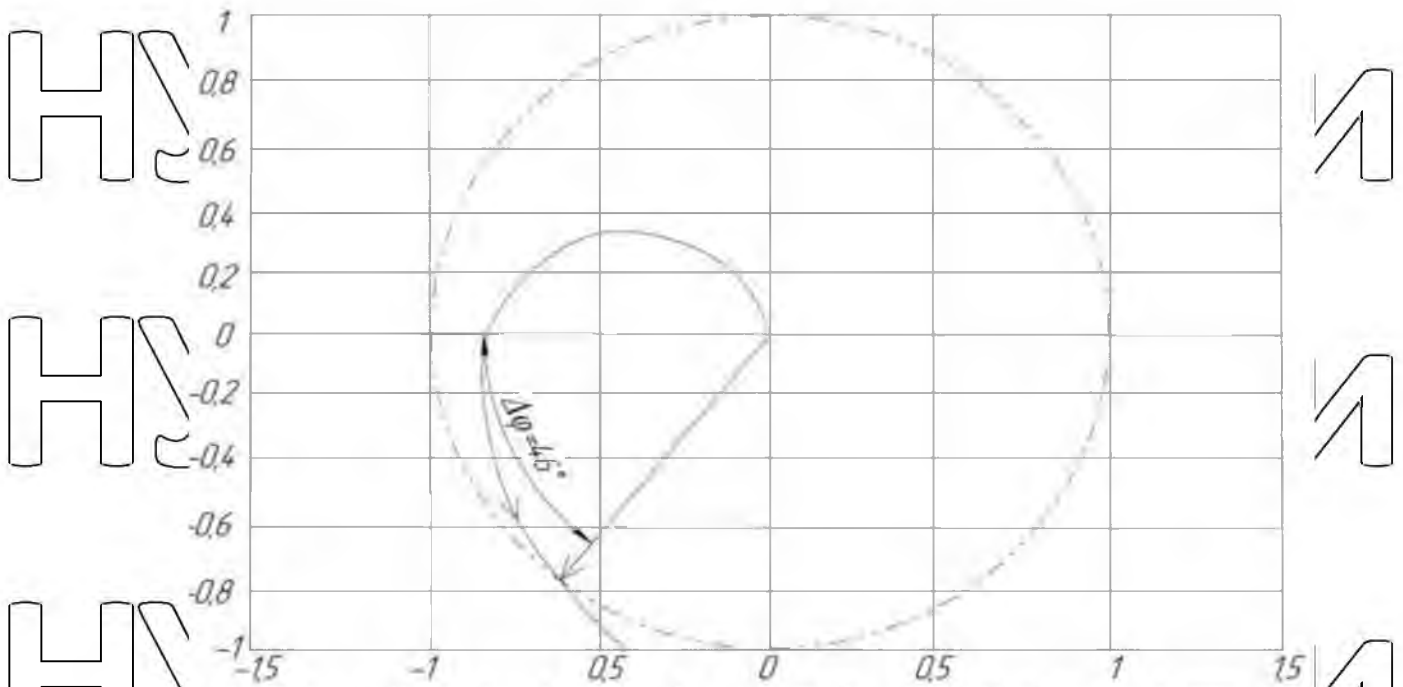


Рисунок 2.21 – Годограф Найквіста за каналом регулювання вологості

Провівши аналіз годографу Найквіста за каналом регулювання температури та за каналом регулювання вологості можна побачити, що коли частота змінюється від нуля до нескінченності годографи не охоплюють точку, що має координати $(-1, 0)$, а отже система є стійкою. Амплітудні запаси стійкості ΔL_t та ΔL_w складають:

$$\Delta L_t = 21\text{дБ, та } \Delta L_w = 18\text{дБ.}$$

Запас стійкості по фазі визначається за допомогою графічного методу і рівний:

$$\Delta\varphi_t = 53^\circ \text{ та } \Delta\varphi_w = 46^\circ.$$

2.10 Перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості

Отже, у досліджуваній САК теплиця є об'єктом управління, температура в ній підтримується у заданих рамках шляхом надходження додаткового тепла від системи опалення. Вода виступає у якості теплоносія і надходить від котельні.

Кількість теплоносія і його температура регулюється, залежно від сигналів, що подає керуючий пристрій. Волога ж регулюється шляхом подачі зволоженого

повітря із системи гуманотворення. Зовнішніми збуреннями є кліматичні умови, такі як: зовнішня температура, опади, швидкість вітру, тощо.

Під час дослідження системи ми отримали наступні перехідні процеси (рис 2.22; рис. 2.23):

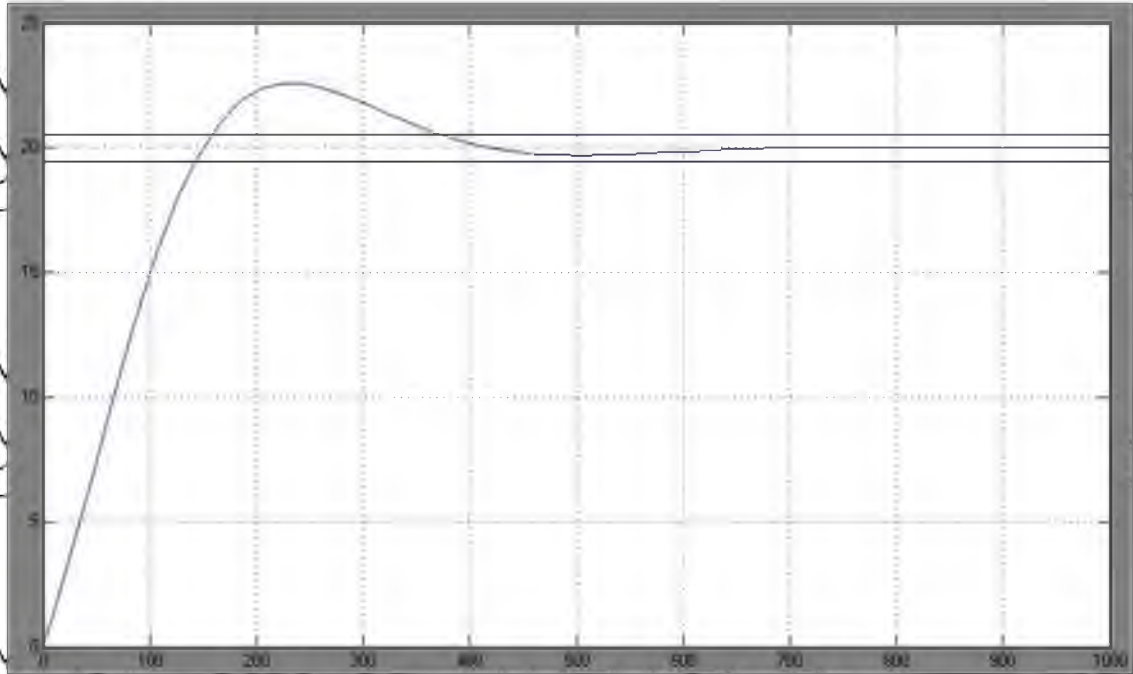


Рисунок 2.22 – Перехідний процес керування температурою

З даного графіка можна визначити час регулювання, рівний $t_p = 360$ с,

коливальність $n = 2$, відсутність статичної похибки і перерегулювання $\sigma =$

$\frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{22 - 20}{20} \cdot 100\% = 10\%$ що менше за 20% і відповідає технологічним вимогам.

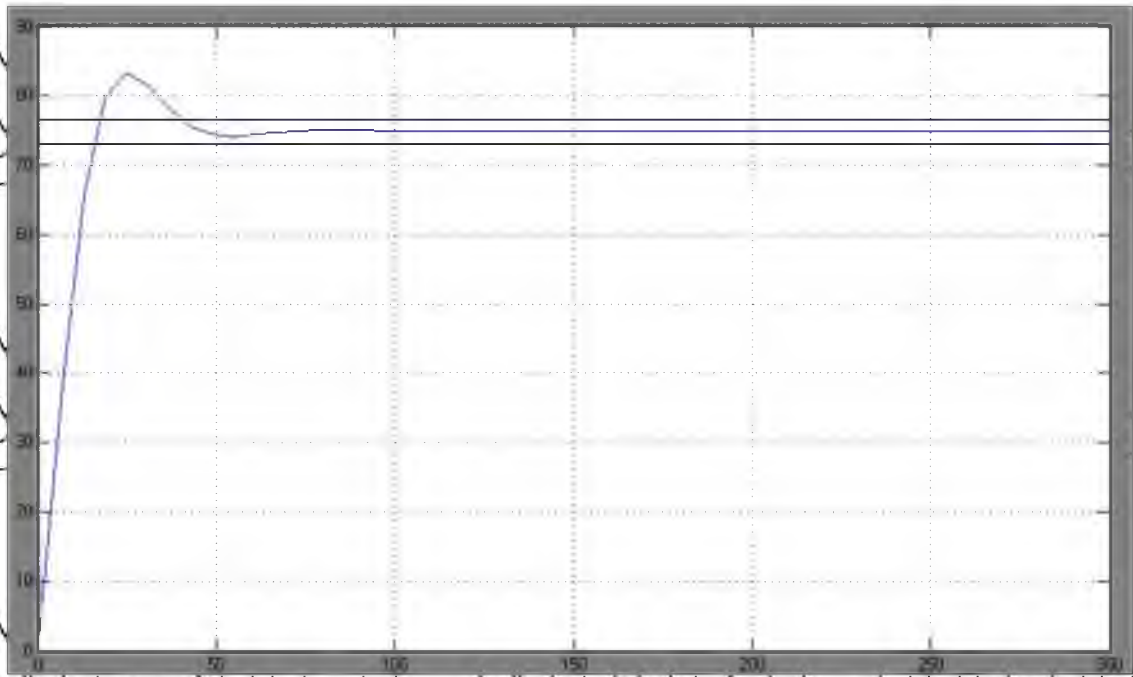


Рисунок 2.23 – Перехідний процес регування вологістю

З даного графіка можна визначити час регулювання, рівний $t_p = 40$ с,

коливальність $n = 2$, відсутність статичної похибки і перерегулювання $\sigma =$

$\frac{u_{max} - u(\infty)}{u(\infty)} \cdot 100\% = \frac{83 - 75}{75} \cdot 100\% = 10,7\%$, що менше за 20% і відповідає технологічним вимогам.

Проведені дослідження підтверджують, що ЦП закон регулювання підходить

для контролю показників температури й вологості у розглянутій тепличній споруді.

2.11 Створення принципової електричної схеми

Принципова електрична схема (рис 2.24) являє собою документ, на якому наведено повний перелік електричних елементів та зв'язків між ними.

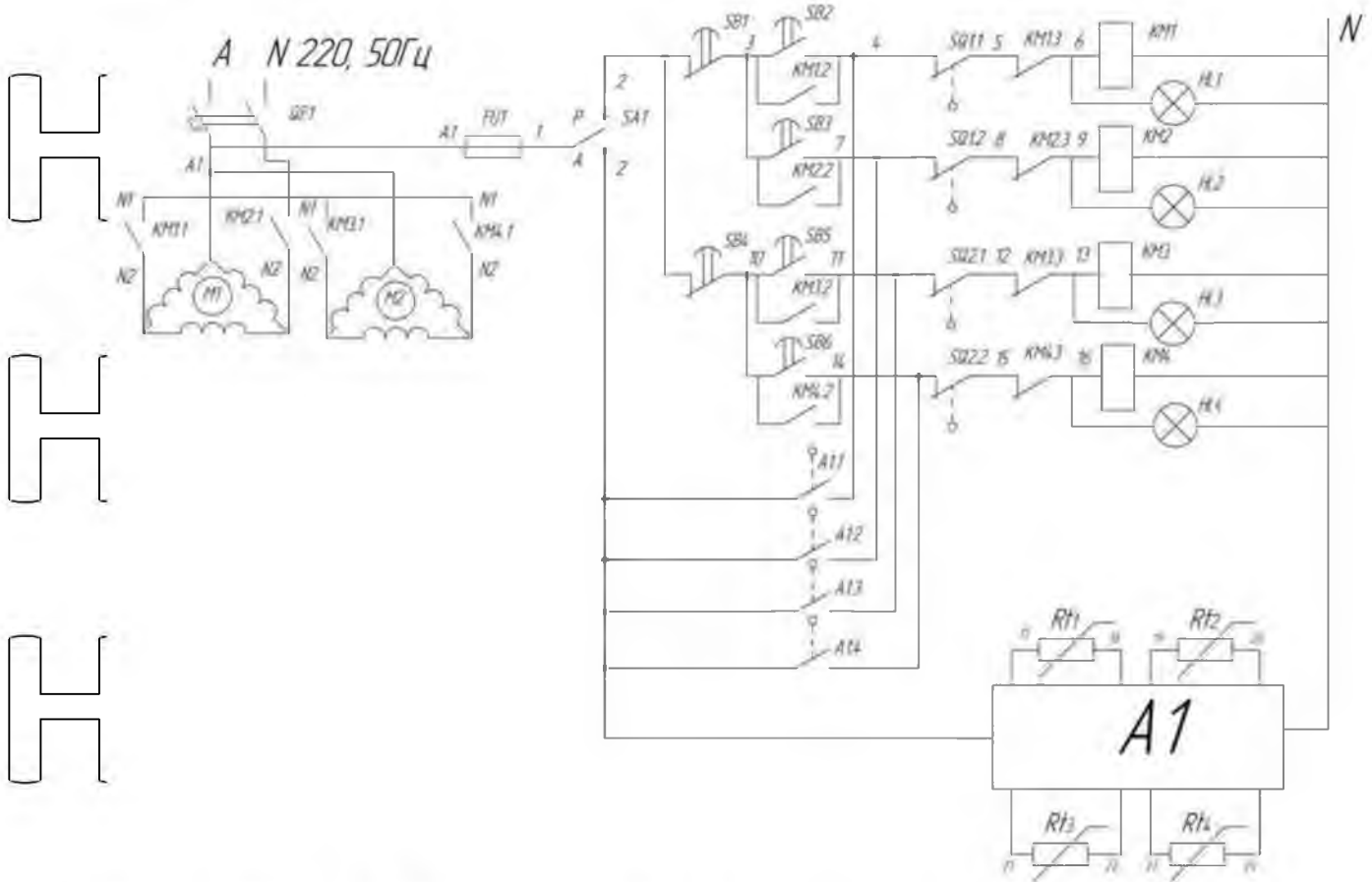


Рисунок 2.24 Принципова електрична схема досліджуваної системи

Вимикач QF1 контролює подачу живлення до схеми. Перемикач SA1 дозволяє системі працювати в ручному або автоматичному режимі, залежно від положення. Коли система знаходиться у ручному режимі керування, то використовуються кнопки SB2, SB3 – вони відповідають за застінку опалення, та SB5, SB6 – вони відповідають за відкриття фрагуг. Натискання кнопок спричиняє подачу живлення на одну з кстушок магнітних пускачів, позначених на схемі KM1 ... KM4. Контакти названих кнопок є дубльованими за рахунок замикаючих контактів із магнітних пускачів, що дозволяє здійснювати самопідтримання. Кожен з ланцюгів передбачає захист, представлений розмикаючими контактами KM1.3 ... KM4.3. Він попереджує одночасне

ввімкнення 2-х реле для однієї заслінки. Коли заслінка відкриває на максимум застосовуються вимикачі, позначені на схемі SQ1; SQ2. У разі потреби вручну зупинити роботу необхідно скористатися стоповими кнопками SB1; SB4.

Наявність напруги на магнітних пускачах показують лампи, позначені як HL1 ...

HL4. Основний час схема працює в автоматичному режимі, де керування забезпечується регулятором А1, який отримує покази від датчиків температури, відображених на схемі як RT1 ... RT4, і, залежно від показів, вмикає контактами А1.1 ... А1.4 потрібні котушки.

2.12 Вибір пускозахиної апаратури

Апарати пуску, захисту й керування представляють собою електричні прилади, призначення яких – вмикати і вимикати, захищати електричні кола та їх користувачів, а також забезпечувати заданий режим роботи.

Щоб вмикати чи вимикати електричні кола та керувати ними використовують кнопки керування, рубильники, контактори, пакетні вимикачі, автоматичні вимикачі та електромагнітні реле. Якщо у електромагнітних пускачах наявні теплові реле, то вони, разом із автоматичними вимикачами, можуть виконувати функції захисту установок. Для захисту також використовують запобіжники.

Для обрання електричного апарату звертають увагу на такі параметри, як напруга, число полюсів, потужність, рід струму, вимоги до захисту та стійкість до навколишнього середовища.

Будь яка електроустановка зобов'язана бути захищеною від короткого замикання. Електродвигуни в установці повинні бути захищені від перевантаження, перепадів напруги та випадкового спрацювання.

Основними апаратами, що забезпечують автоматизоване чи автоматичне керування електроустановки є електромагнітні пускачі.

Для досліджуваної системи використовується електродвигун АІР80В4 (рис 2.25). Його характеристики:

$$P_{ед} = 1.5 \text{ кВт}, n_H = 1410 \text{ об/хв}; I_H = 5.3 \text{ А}; \eta_H = 75.8\%; \cos\phi_H = 0.80; K_i$$

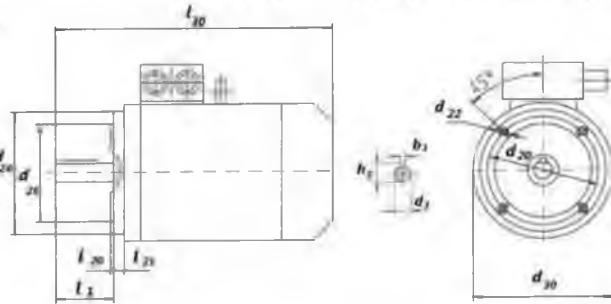


Рисунок 2.25 – Електродвигун AIP80B4

Під час обрання автоматичного вимикача необхідно звернути увагу на такі чинники:

- тип, або серія;
- номінальна напруга, при умові, що:

$$U_{н.ав.} \geq U_M \quad (2.48)$$

де $U_{н.ав.}$ – напруга на автоматичному вимикачі, номінальна, В;
 U_M – напруга у електромережі, номінальна, В;

- номінальний струм, при умові, що:

$$I_{н.ав.} \geq I_{н.дв.} \quad (2.49)$$

де $I_{н.ав.}$ – струм на автоматичному вимикачі, номінальний, А;
 $I_{н.дв.}$ – струм на електродвигуні, номінальний, А;

- номінальний струм на тепловому розчіплювачі:

$$I_{нр} \geq 1.25 \cdot I_{н.дв.} \quad (2.50)$$

де $I_{нр}$ – струм на тепловому розчіплювачі, номінальний, А;
 1.25 – коефіцієнт, що враховує розбіжності струму спрацювання для теплового розчіплювача;

- ступінь захисту персоналу, що обслуговує установку, відповідно до ГОСТ 14254-69;

- стійкість до кліматичних умов та категорія розміщення.

Враховуючи, що у якості електромагнітного двигуна використовується АІР80В4, то вибір вимикача здійснюється, спираючись на наступні умови:

$$U_{н.м.} = 220 \text{ В}; I_{н.} = I_{н.дв.} = I_{н.дв.1} + I_{н.} = 5.3 + 5.3 = 10.6 \text{ А}; I_{н.р.} = 10.6 \cdot 1.25 = 13.25 \text{ А}.$$

У відповідності до розглянутих вище умов обираємо автоматичний вимикач ВА-2001 зр І6А. Його характеристики:

$$U_{н.ав.} = 220/380; I_{н.ав.} = 16 \text{ А}; K_{відс.р.м.} = 10.$$

Такі характеристики задовольняють умови (2.48; 2.49; 2.50), що свідчить про вірний вибір автоматичного вимикача.

Призначення електромагнітного пускача полягає у дистанційному автоматичному керуванні електродвигунами.

Під час обрання електромагнітного пускача необхідно звернути увагу на такі чинники:

- тип, або серія;
- номінальна напруга, при умові, що:

$$U_{н.мп.} \geq U_{м.} \quad (2.51)$$

де $U_{н.мп.}$ – напруга на магнітному пускачі, номінальна, В;

$U_{м.}$ – напруга у електромережі, номінальна, В;

- номінальний струм, при умові, що:

$$I_{н.са} \geq I_{н.} \quad (2.52)$$

де $I_{н.са}$ – струм на магнітному пускачі, номінальний, А;

$I_{н.}$ – струм навантаження, номінальний, А;

- номінальна напруга котушки, при умові, що:

$$U_{к.мп.} \geq U_{кк.} \quad (2.53)$$

де $U_{к.мп.}$ – напруга на котушці магнітного пуска, номінальна, В;

$U_{кк.}$ – напруга на колі керування, В;

- ступінь захисту персоналу, що обслуговує установку, відповідно до ГОСТ 14254-69;

- стійкість до кліматичних умов та категорія розміщення.

Нижче наведені дані, виходячи з яких буде обиратися магнітний пускач:

$$U_{н.с.м.} = 380 \text{ В}; I_{н.д.в.} = 10,6 \text{ А}; U_{н.м.у.} = 220 \text{ В}.$$

Відповідно до наведених умов обираємо у якості електромагнітного пускача нашої системи ПЛМ-1210Д. Його характеристики:

$$U_{н.м.п.} = 380 \text{ В}; I_{н.м.п.} = 16 \text{ А}; U_{н.к.} = 220 \text{ В}.$$

Незважаючи на рівень автоматизації підприємства його функціонування неможливе без операторів. Зважаючи на це велика увага завжди приділяється створенню постів керування (рис. 2.26), звідки оператор централізовано зможе слідкувати і корегувати роботу обладнання.

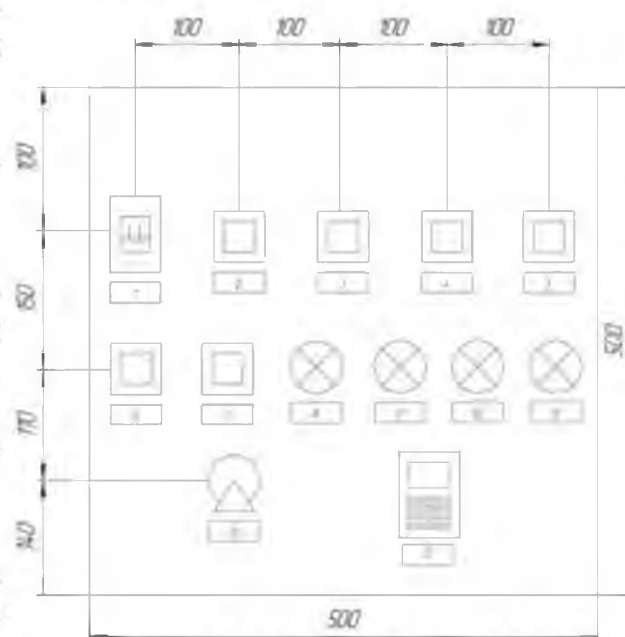


Рисунок 2.26 – Щит керування

Схема електричних підключень (2.27) відображає, які зв'язки є між щитом керування системою та зовнішніми приладами.

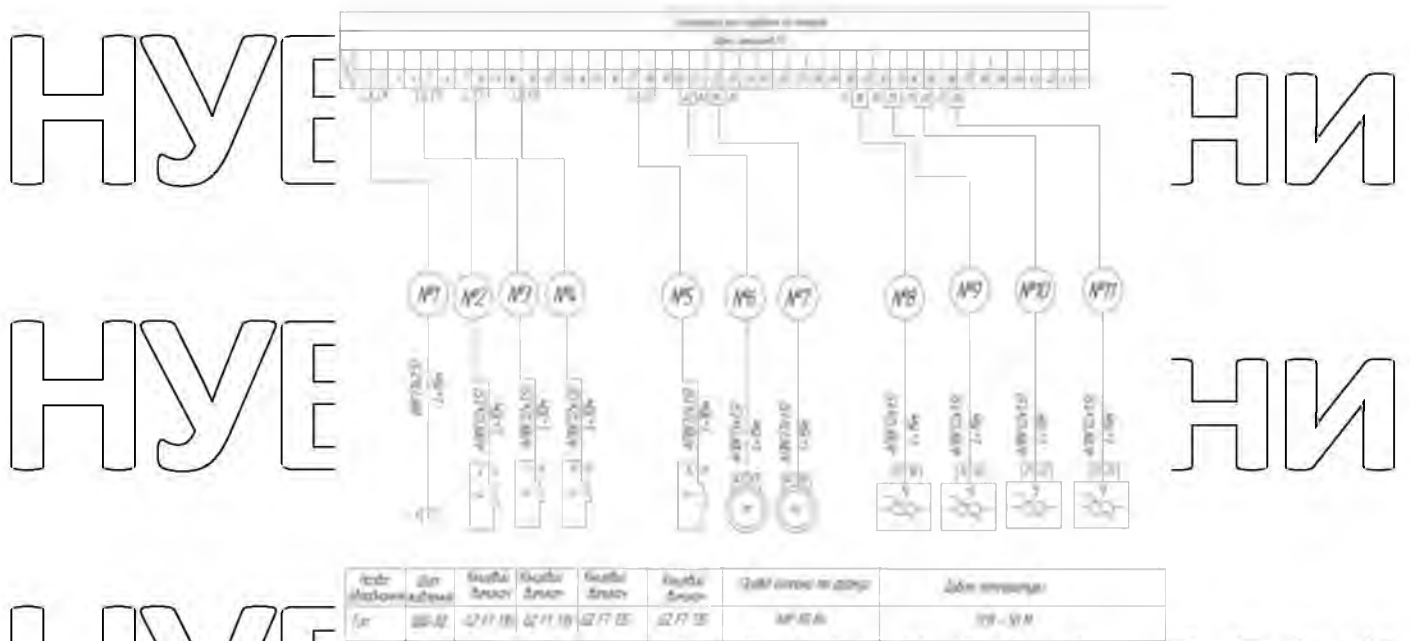


Рисунок 2.27 – Схема електричних підключень

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

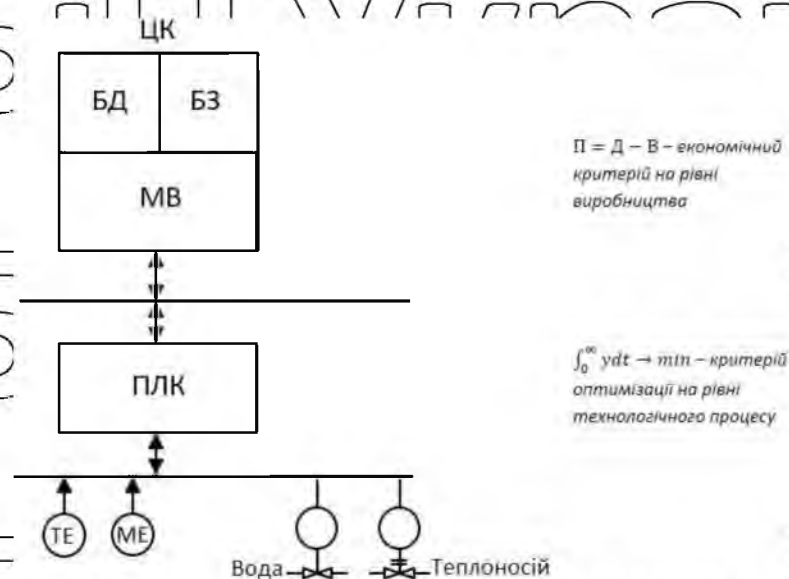
НУБІП України

2.13 Нейронна мережа

Тенденцію росту цін на вичерпні енергоресурси можна спостерігати вже досить тривалий проміжок часу. Звернувши на це увагу, можна зробити висновок, що вона збережеться і надалі. Аби підприємство у таких умовах залишалося прибутковим й конкурентоспроможним слід приділити значну увагу постійній економії енергоресурсів під час його роботи.

Встановлення та підтримка відповідного мікроклімату у тепличній споруді – досить енерговитратний процес, особливо що стосується опалення. Зважаючи на це було прийнято рішення підключення до САК нейронної мережі, яка дозволила би підтримувати найкращі показники мікроклімату при мінімальних витратах на енергетичні ресурси.

Впроваджена нейронна мережа (рис. 2.8), побудована в програмному середовищі Fuzzy Logic Toolbox MATLAB на основі результатів тривалих статистичних спостережень за змінами параметрів зовнішнього середовища, атмосфери в теплиці (дослідження проводила кафедра автоматичної та робототехнічних систем ім. академіка І.І.Мартиненка НУБіП України). Цей рівень автоматизації забезпечує реалізацію економічного критерія – максимізує прибуток за рахунок оптимізації витрат енергоносіїв (у першу чергу природного газу).



$\Pi = D - B$ – економічний критерій на рівні виробництва

$\int_0^{\infty} y dt \rightarrow \min$ – критерій оптимізації на рівні технологічного процесу

Рисунок 2.28 – Дворівнева система автоматичного керування мікрокліматом з нейронною мережею

- ЦК – центральний комп'ютер;
- БД – база даних;
- БЗ – база знань;
- МВ – модуль виведення;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- П – прибуток;
- Д – дохід;
- В – видатки;
- $\int_0^{\infty} y dt \rightarrow \min$ – лінійний інтегральний критерій.

Нейронна мережа (рис. 2.29) розміщена на центральному комп'ютері. База даних результатів тривалих статистичних спостережень за змінами параметрів зовнішнього середовища та атмосфери у теплиці забезпечила якісне навчання мережі. До бази знань внесено перелік правил, керуючись якими НМ обраховує оптимальні значення контрольованих параметрів відповідно до дій збурення. Модуль виведення забезпечує передачу сигналів від нейронної мережі до ПЛК, який, в свою чергу, задає керуючу дію на робочих органах.

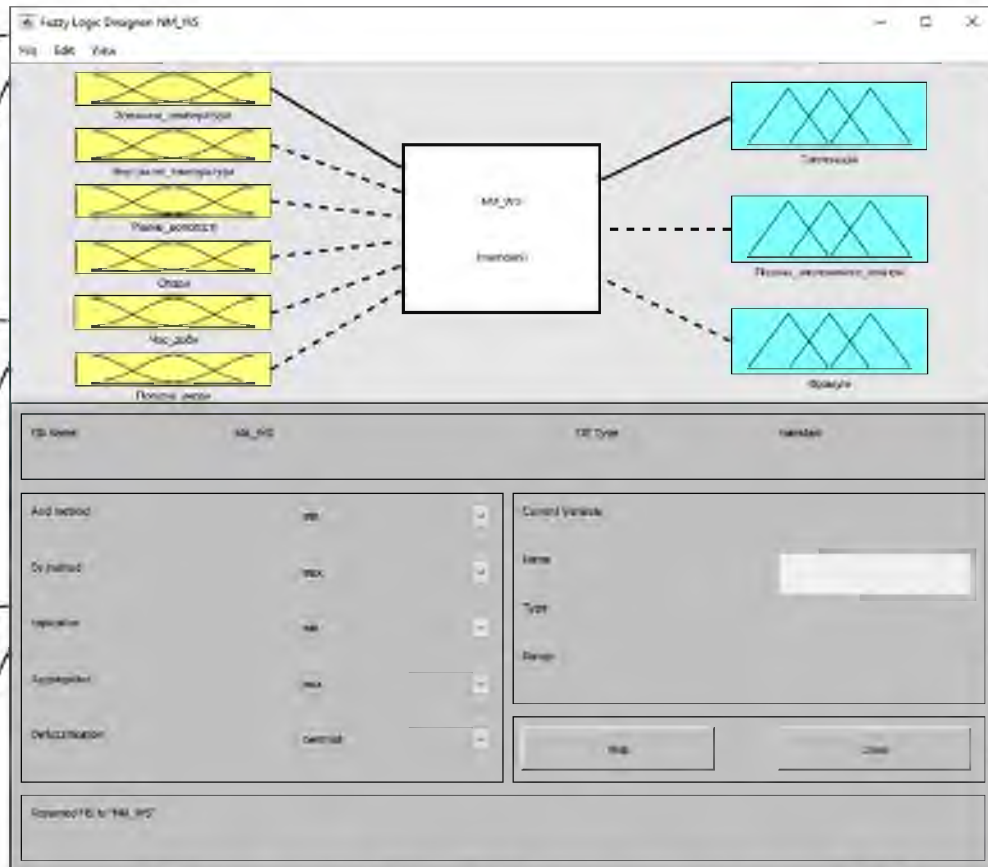


Рисунок 2.29 – Розроблена нейронна мережа

Нейронна мережа має 6 входів і 3 виходи. Параметри, що подаються на входи НМ наступні:

- Зовнішня температура, °C;
- Внутрішня температура, °C;
- Рівень вологості, %;
- Опали;
- Час доби;
- Погодні умови

Значення наведених нижче параметрів потрапляють до центрального блоку нейронної мережі, де задано 14 правил (рис.2.30) створення вихідних сигналів, залежно від вхідних. Правила мають різні вагові коефіцієнти, залежно від їх пріоритетності.



Рисунок 2.30 – Блок правил у НМ

Після обрахунку у блоці правил НМ отримує три вихідні значення (рис 2.31, рис 2.32), залежно від яких будуть задані:

- температури теплоносія (гарячої води), °С;
- об'єму подачі зволоженого повітря, $\text{м}^3/\text{хв}$;
- кут відкриття фрамуг.

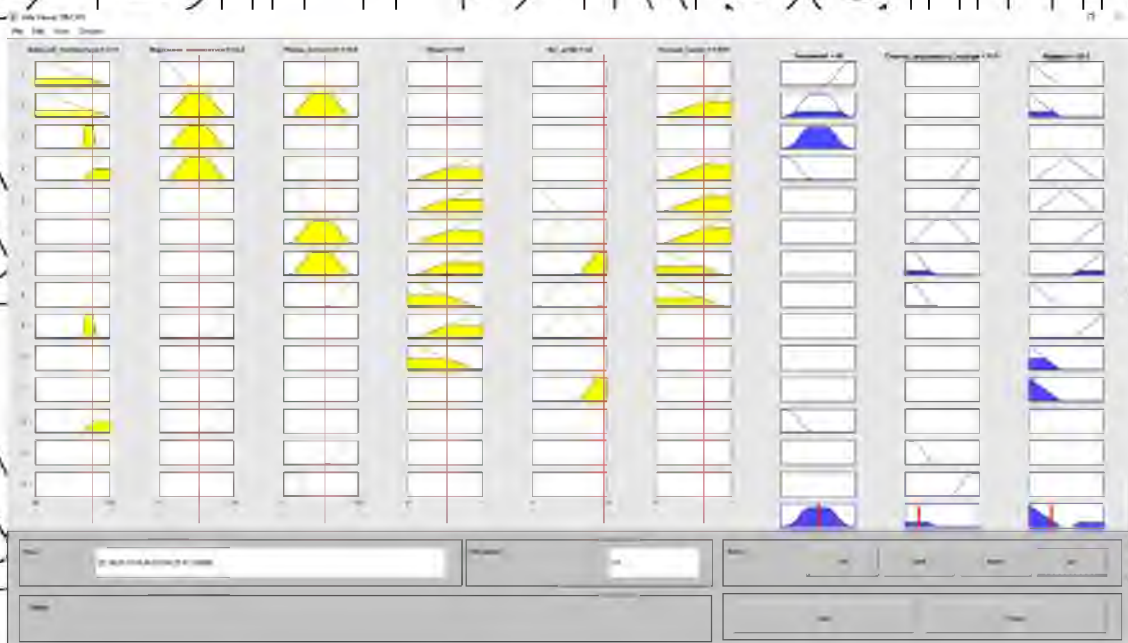


Рисунок 2.31 – Залежності вихідних параметрів від вхідних

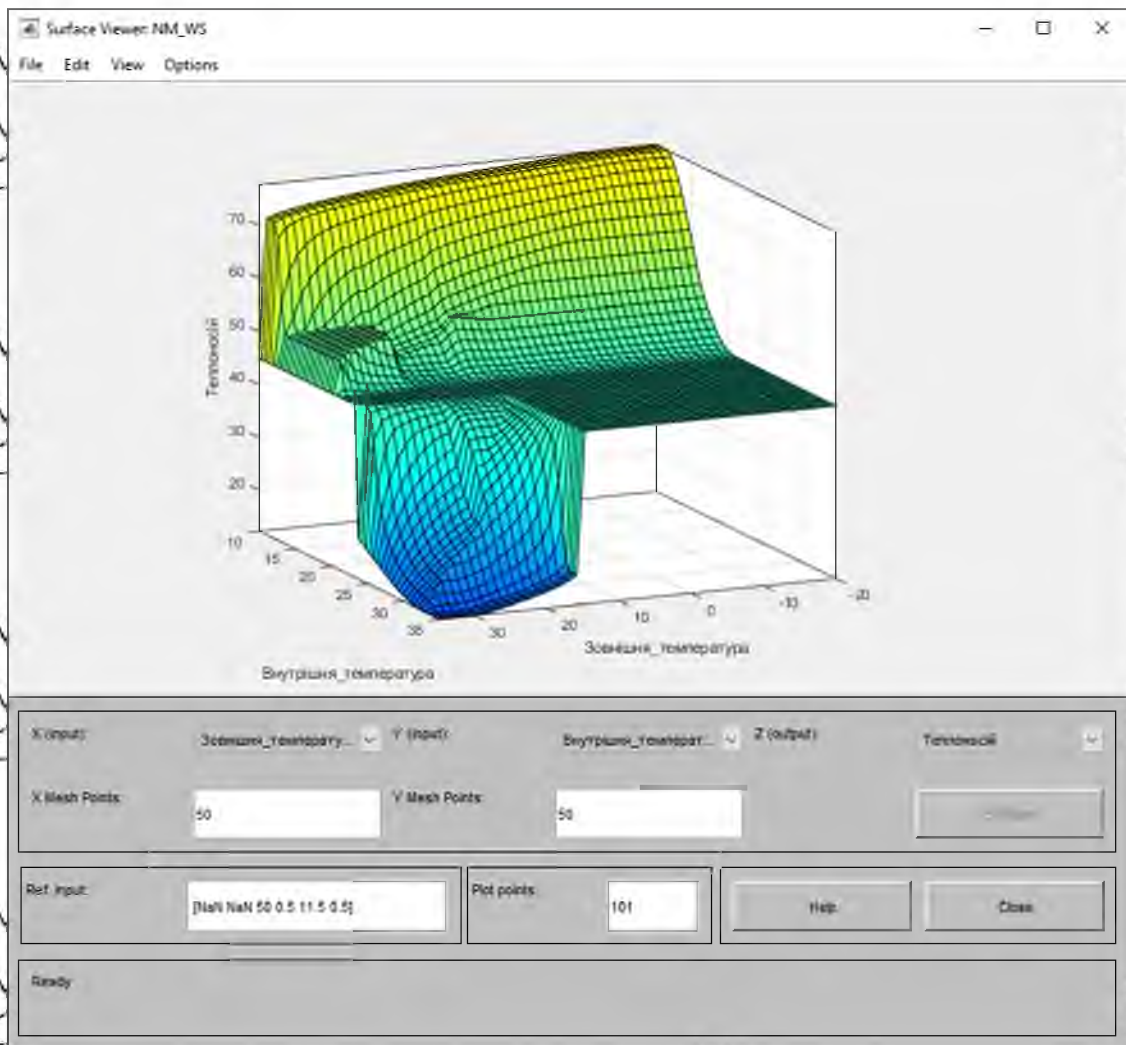


Рисунок 2.32 – Залежність температури теплоносія від зовнішньої і внутрішньої температури у теплиці

2.14 Висновки другого розділу

У цьому розділі була проведена розробка й дослідження математичної моделі системи автоматичного керування мікрокліматом у теплиці. Після проведення аналізу характеристик об'єкту було визначено його передаточні функції. Для системи було обрано:

- програмований логічний контролер Modicon M221;
- датчик вологості Mini Cap 2;
- датчик температури TCM-50M;
- виконавчий механізм – електродвигун AIP80B4.

Система здійснює регулювання за:

- каналом температури;

• каналом вологості;
 • кутом нахилення фрамуг.

Розроблена система здійснює регулювання відповідно до ПІ-закону керування параметрів мікроклімату, забезпечує якісну індикацію технологічних параметрів, має контури керування електродвигунами і електроклапанами.

Перехідні процеси у системі були змодельовані за допомогою математичної моделі, що дало змогу одержати час перехідного процесу і відносне перерегулювання для каналів керування температурою та вологістю. Для температури $t_p = 360$ с, $\sigma = 10\%$, а для вологості $t_p = 40$ с, $\sigma = 10.7\%$, що

відповідає технічним вимогам.

Також була створена нейронна мережа, що за допомогою сформованих бази даних та бази знань і зв'язку між ними здатна вираховувати оптимальні значення для температури теплоносія, об'ємів подачі зволоженого повітря і кута нахилу фрамуг залежно від зовнішніх чинників для максимальної економії енергоресурсів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. КОШТОРИСНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Розрахунки витрат на встановлення, експлуатацію та терміну окупності системи

Вдосконалення системи автоматичного керування мікрокліматом на підприємстві у першу чергу направлено на зниження собівартості виготовленої продукції шляхом економії енергоресурсів.

Показником економічної ефективності таких дій в першу чергу є розрахункові витрати. Вони включають витрати на експлуатацію та капіталовкладення за один рік. Зведені витрати обраховуються за наступною формулою:

$$B_{зв} = C + E_n K, \quad (3.1)$$

де $B_{зв}$ – зведені витрати протягом одного року; C – витрати на експлуатацію протягом одного року; E_n – коефіцієнт, рівний 0.15; K – витрати капіталу.

Витрати на експлуатацію включають:

- C_z – оплата праці для персоналу;
- C_e – оплата енергоресурсів;
- C_a – витрати на амортизацію;
- C_p – витрати на ремонтні роботи;

Оплата праці персоналу приймається із урахуванням погодинних ставок, додаткових доплат та нарахувань. Приймаємо ці дані рівними середньостатистичним умовам на ринку праці $C_z = 70$ грн/год.

Далі визначаємо амортизаційні витрати, узявши певний відсоток від вартості засобів (приладів автоматизації, $C_a = 14.2\%$). Витрати на ремонт визначаються за таким же принципом.

Щоб визначити витрати на енергетичні ресурси потрібно знайти витрати електроенергії, а також виробничі тарифи:

$$C_e = P \cdot 0.1 \cdot T \cdot 0.85, \quad (3.2)$$

де P – необхідна потужність системи опалення;

0.1 – коефіцієнт переводу потужності в об'єм природнього газу;

T – тариф;

0,85 – коефіцієнт економії від застосування ІМ.

Отримуємо річні витрати на експлуатацію:

$$C = C_3 + C_a + C_{пр} + C_e. \quad (3.3)$$

Сума інших витрат приймається рівною одному відсотку від витрат на експлуатацію.

Витрати капіталу включають:

- K_3 – витрати на засоби автоматизації;
- $K_{тт}$ – витрати на транспортування та торгівлю;
- K_m – витрати на монтажні роботи;
- K_i – інші витрати.

Вартість засобів автоматизації береться з довідкової літератури, торгівельні і транспортні витрати приймаються рівними 11% від K_3 , витрати на монтажні роботи приймаються залежно від діючих тарифів і прийнято вважати рівними 15-20 відсоткам від K_3 , витрати на провідку приймаються з урахуванням вартості 2,5-5,5 грн за метр кабелю при відкритому способі укладки і у 15 грн за метр кабелю при трубному, інші витрати складають 2% від K_3 .

Отже витрати капіталу будуть обраховані за наступною формулою:

$$K = K_3 + K_{тт} + K_m + K_i. \quad (3.4)$$

Щоб знайти K_3 варто скористатися довідковою літературою і віднайти вартість усіх елементів САК мікрокліматом:

$$K_3 = K_d + K_{плк} + K_{дв} + K_{кл} + K_{цк}, \quad (3.5)$$

де K_d – витрати на датчики ($K_d = 350 + 2500 = 2850$ грн);

$K_{плк}$ – витрати на програмований логічний контролер ($K_{плк} = 5000$ грн);

$K_{дв}$ – витрати на електродвигун ($K_{дв} = 3100$ грн);

$K_{кл}$ – витрати на електричний клапан ($K_{кл} = 3200$ грн);

$K_{цк}$ – витрати на центральний комп'ютер обладнаний нейронною мережею
($K_{цк} = 5000$ грн).

$$K_3 = 2850 + 5000 + 3100 + 3200 + 5000 = 19150 \text{ грн};$$

$$K_{тт} = 0.11 \cdot K_3 = 0.11 \cdot 19150 = 2100 \text{ грн};$$

$$K_M = 0.17 \cdot K_3 = 0.17 \cdot 19150 = 3255 \text{ грн};$$

$$K_i = 0.06 \cdot K_3 = 0.06 \cdot 19150 = 1150 \text{ грн}. \quad (3.6)$$

Тепер можемо визначити витрати на капіталовкладення:

$$K = K_3 + K_{тт} + K_M + K_i = 19150 + 2100 + 3255 + 1150 = 25655 \text{ грн}.$$

Виходячи з цього, амортизаційні відрахування складатимуть:

$$C_a = 0.14 \cdot K_3 = 0.14 \cdot 19150 = 2680 \text{ грн}.$$

Витрати на ремонт складатимуть:

$$C_{пр} = 0.18 \cdot K_3 = 0.18 \cdot 19150 = 3447 \text{ грн}.$$

Прийнявши, що опалюваний об'єм для однієї системи рівний 230 м^3 , тип покриття – полікарбонатний лист, товщиною 6 мм, середньорічна температура всередині теплиці – 20°C , мінімальна температура ззовні -27°C , а середня температура протягом року – 13°C можемо отримати необхідну потужність для опалення теплиці. Після чого використавши довідникові матеріали по перетворенню котлом газу в тепло і ціни на природний газ можемо поррахувати суму річних витрат на енергоресурси:

$$C_e = 72504 \cdot 0.1 \cdot 43 \cdot 0.85 = 265002 \text{ грн/рік}.$$

Система потребує 1 оператора, витрати на його працю становитимуть:

$$C_z = Z_{по} + Z_{дод}, \quad (3.7)$$

де $Z_{по}$ – заробітна плата персоналу;

$Z_{дод}$ – додаткова плата персоналу, рівна 25% від $Z_{по}$.

Основна заробітна плата обраховується за формулою:

$$Z_{по} = П \cdot Г \cdot Д \cdot С, \quad (3.8)$$

де $П$ – кількість персоналу ($П = 1$),

$Г$ – кількість робочих годин на добу ($Г = 8$);

D – кількість робочих днів на рік ($D = 300$);

C – ставка (70 грн/год).

Отже:

$$Z_{\text{по}} = 1 \cdot 8 \cdot 300 \cdot 70 = 168000 \text{ грн,}$$

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{по}} \cdot 0.25 = 42000 \text{ грн,}$$

$$C_3 = Z_{\text{по}} + Z_{\text{дод}} = 168000 + 42000 = 210000 \text{ грн}$$

Річні витрати на експлуатацію становитимуть:

$$C = C_3 + C_a + C_{\text{пр}} + C_e = 210000 + 25655 + 2680 + 3447 + 265002$$

$$= 506784 \text{ грн.}$$

Надалі знайдемо зведені витрати:

$$B_{\text{зв}} = C + E_n \cdot K = 506784 + 0.15 \cdot 25655 = 510632 \text{ грн.}$$

Знаходимо чистий прибуток від встановлення системи:

$$\Pi = \Delta C_{\text{зп}} + \Delta C_e, \text{ грн,} \quad (3.9)$$

де $\Delta C_{\text{зп}}$ – економія заробітної платні ($\Delta C_{\text{зп}} = 14000$ грн);

ΔC_e – економія на енергоресурсах ($\Delta C_e = 46765$ грн).

$$\Pi = 14000 + 46765 = 60765, \text{ грн.}$$

Розрахуємо термін окупності системи:

$$T = K / \Pi = 25655 / 60765 = 0.42, \text{ років.} \quad (3.10)$$

3.2 Висновки третього розділу

Провівши кошторисні розрахунки ми можемо побачити, що прибуток протягом року від встановлення однієї системи становитиме 60765 грн, а термін її окупності – трохи більший за 4 місяці.

ВИСНОВКИ

Під час виконання роботи була досліджена та вдосконалена система автоматичного керування мікрокліматом у теплиці. Виходячи із результатів дослідження можна впевнено сказати, що досліджувана САК задовольняє усі необхідні параметри при невеликих капіталовкладеннях. Впроваджена нейронна мережа дозволить системі окупити себе за 4 місяці, враховуючи лише економію енергоресурсів та заробітну плату працівникам.

Розроблена система здійснює регулювання відповідно до ПІ-закону керування параметрів мікроклімату, забезпечує якісну індикацію технологічних параметрів, має контури керування електродвигунами і електроклапанами.

Перехідні процеси у системі були змодельовані за допомогою математичної моделі, що дало змогу одержати час перехідного процесу і відносне перерегулювання для каналів керування температурою та вологістю. Для температури $t_p = 360$ с, $\sigma = 10\%$, а для вологості $t_p = 40$ с, $\sigma = 10.7\%$, що відповідає технічним вимогам.

Список використаної літератури

1. Мартиненко І.І., Лисенко В.Ф. Проектування систем автоматик. -М.: Агропромиздат. 1990 г. 243 стр.

2. Мартиненко І.І. Автоматика та автоматизація виробничих процесів. 1985 г. - 335 стр.

3. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник - Ж. 2008. - 330с.

4. Бородин Н.Ф. Неделько Н.Н. Автоматизація технічних процесів. - М.: Агропромиздат. 1986 г. 367 стр.

5. Клієв А.С. Налаштування засобів автоматизації та автоматичних систем регулювання. - М. Энергоиздат. 1989 г.

6. Ізаков Ф.Я. Курсове та дипломне проектування по автоматизації технологічних процесів. -М.: Агропромиздат. 1988.

7. <https://www.y.se.com/ua/>