

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і
енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

(підпис) /В.В. Каплун/
« ____ » _____ 2024 р.

(підпис) Є.О. Антипов/
« ____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Підвищення енергоефективності теплиць типу Venlo при вирощуванні овочів у літній період року»**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва)
(назва)

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

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Мазур Д.І.
(ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем**

К.Т.Н., ДОЦЕНТ / Є.О. Антипов
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ
 ” ” ” 2024 року
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Мазуру Данилу Івановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

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

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Підвищення енергоефективності теплиць типу Venlo при вирощуванні овочів у літній період року»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “26.09.2024 р. № 1666 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.15
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.
- б) Публікації співробітників кафедри ЕЕЕ.
- в) Результати навчально-дослідницької практики.
- г) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- д) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1) АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO
- 2) ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO
- 3) ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛИЦІ
- 4) РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

Дата видачі завдання 26.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи Троханяк В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Мазур Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 75 с., 49 рис., 11 табл., 21 джерело.

Об'єкт дослідження – процес керування вологістю повітря в теплиці, який відіграє важливу роль у виробництві та вимагає високого рівня якості електрообладнання.

Предметом дослідження технологічні процеси в електрообладнанні та процеси діагностування і контролю працездатності всіх складових.

Методи дослідження та апаратура: розрахунково-аналітичний. Теоретичні дослідження стану електрообладнання базуються на загальній теорії перехідних процесів та теорії математичного моделювання і теорії інформації.

Мета роботи мінімізація витрат на паливо та енергоресурси, підвищення ефективності виробництва та безпечність продукції. Для цього створена комп'ютерно-інтегрована система керування вологісним режимом в теплиці типу Venlo при виробництві овочів в літній період.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасного стану теплиць типу Venlo та питань роботи системи створення мікроклімату, моделювання імітаційної моделі вологості в теплиці з використанням MATLAB, моделювання електрообладнання для електрофікованої системи управління вологісним режимом на теплиці типу Venlo, розроблено SCADA систему для контролю технологічних процесів в теплиці, обрано відповідний керуючий елемент для роботи SCADA системи, проведено розрахунок надійності роботи електротехнічного обладнання.

Ключові слова: електрифікація, SCADA система, електрофікована система, теплиця, електродвигун, автоматичні вимикачі, диференціальні автоматичні вимикачі, відмова.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO	6
1.1. Конструктивні особливості сучасної теплиці	6
1.2. Керування вологісним режимом в блочних теплицях	8
1.3. Аналіз процесів, що протікають в об'єкті автоматизації	11
Висновки за розділом 1	12
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO	14
2.1. Вибір електротехнічних пристроїв	14
2.1.1. Вибір електродвигунів	15
2.1.2. Вибір автоматичних вимикачів	16
2.1.3. Вибір диференціальних автоматичних вимикачів	18
2.1.4. Вибір електромагнітного пускача	19
2.1.5. Вибір теплових реле	21
2.1.6. Вибір трипозиційного перемикача	23
2.1.7. Вибір реле контролю фаз	23
2.1.8. Вибір блоку живлення	24
2.1.9. Вибір частотного перетворювача	25
2.2. Вибір проводів та кабелів	26
2.3. Розроблення електричних схем керування	29
2.3.1. Розроблення електричної принципової схеми	29
2.3.2. Розроблення схеми з'єднань	29
2.3.3. Розроблення схеми підключень	31
Висновки за розділом 2	32
РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛИЦІ	34
3.1. Розробка та дослідження математичної моделі теплиці	34
3.1.1. Імітаційне моделювання вологісного режиму в теплиці з використанням MATLAB	38
3.1.2. Розробка функціональної схеми системи електрофікованого	

	5
керування вологістю повітря в теплиці	42
3.2. Вибір алгоритму керування	44
3.3. Вибір датчиків	44
3.4. Вибір виконавчих механізмів	49
3.5. Час квантування цифрової системи керування	59
3.6. Реалізація цифрового ПІ-регулятора	61
3.7. Дослідження цифрової системи електрофікованого керування на стійкість та якість	64
3.8. Вдосконалення керування SCADA-системи	65
Висновки за розділом 3	69
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ	71
4.1. Розрахунок надійності, підвищення надійності електротехнічного обладнання	71
Висновки за розділом 4	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO

1.1. Конструктивні особливості сучасної теплиці

Вирощування овочів в теплицях з максимально сприятливими умовами для них стало звичайною справою в сьогоденні, але саме Голландські теплиці стали найпопулярніші в світі через ряд переваг. З усіх типів теплиць, Venlo є найпопулярнішим варіантом. Теплиці Venlo є найбільш раціональним варіантом у порівнянні з іншими типами теплиць, однією з основних переваг є можливість переобладнати теплицю під свої вимоги. Поєднання сталі, скла і алюмінію робить ці теплиці надзвичайно міцними з низькими витратами на матеріали.

Вся сталева конструкція виготовляється з урахуванням обладнання всередині теплиці, вітрових і снігових навантажень регіону, в якому планується будівництво. Кожен складовий елемент виробляється максимально легким, дотримуючись при цьому конструктивних норм.

Зовнішній вигляд теплиці типу Venlo представлено на рис. 1.1



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд теплиці типу Venlo

Каркас теплиці - це конструкція, яка включає в себе наступні складові: колони, сталеві ферми, розпірки, покриття з білої порошкової краски, алюмінієві лотки та профілі.

Колони

Оптимальна висота теплиці залежить від виду рослин і методу культивування. Колони формують висоту теплиці своєю довжиною. Сьогодні найчастіше використовують теплиці висотою від 6 м до 7 м.

На колони теплиці завжди діє тиск, тому їх виготовлять максимально легкими та міцними з дотриманням всіх технологічних стандартів:

- 1) Колони несуть навантаження від скла, алюмінієвого даху і обладнання тепличних систем.
- 2) Колони піддаються вертикальному навантаженню під впливом вітру.

Сталеві ферми

Скелет теплиці Venlo утворюють сталеві ферми та колони та монтуються на фундамент. Сталеві ферми також є основою в для кріплення внутрішніх систем теплиці, таких як механізми вентиляції, елементи систем зашторювання, системи опалення, підвісні лотки для вирощування рослин та інші системи, які передбаченні проектом для вирощування різних культур. Конструкція ферм складається з таких елементів: верхній і нижній пояс-профіль, діагоналі і кінцеві пластини. Довжина ферми визначає відстань між колонами. Найбільш поширені стандартні величини ширини ферм - 8,0 м, 9,6 м і 12,0 м.

Саме тому теплиці типу Venlo є найкращим варіантом для вирощування овочевої та квіткової продукції.

Біле порошкове покриття

Корпус сталевих елементів оцинкований, що запобігає окисленню. Саме через це сталева структура теплиці набуває сірого кольору. Колони, ферми та розпірки через фізичні властивості білого кольору покривають саме їм через можливість поглинання сонячного світла та для кращого зовнішнього вигляду.

Розпірки

Використовуються для витримування навантаження під кутом 90° та перенесенні горизонтальних навантажень уздовж лотків на фундамент теплиці.

Алюмінієві профілі

Використання алюмінієвих профілів дає змогу полегшити каркас теплиці, кріпити скло, відводити дощову воду і забезпечує загальну міцність конструкції.

Гумова прокладка між склом і алюмінієм захищає теплицю від потрапляння води і вітру всередину. Як і сталева конструкція, алюмінієві профілі виготовляються максимально легкими та міцними з дотриманням конструктивних норм.

Профілі (шпроси) для кріплення скла дозволяють забезпечити максимальне проникнення світла. Для скління використовують одинарне прозоре скло товщиною 4,0 мм.

Бічні стіни зазвичай скляться одинарним склом. Проте, система дозволяє використовувати в якості покриття подвійне скло, полікарбонат або сендвіч-панелі.

Алюмінієвий лоток

Скляні панелі встановлюються в профіль алюмінієвого лотка. Завдяки ущільненню, скло продовжує функцію лотка під час опадів, коли дощової води багато, вона піднімається вгору до коника по склу, але всередину теплиці не потрапляє. Ця властивість робить систему алюмінієвої покрівлі ефективною.

Алюмінієвий лоток не тільки збирає дощові опади і сніг, а й виконує важливу конструктивну роль - міцність. Крім того, лоток збирає конденсат всередині теплиці.

1.2. Керування вологісним режимом в блочних теплицях

Мікроклімат - це особливість клімату на невеликій ділянці землі, котра поєднує певні чинники, важливі для росту і розвитку рослин. Це температурні умови, вологість повітря, освітленість.

Так як теплиця призначена для вирощування овочів, то візьмемо за основу томат (рис. 1.2), то потрібно підбирати найважливіші фактори для росту саме цього овоча.

Помідор — однорічна чи багаторічна трав'яниста рослина родини Пасльонових. Так як теплиця з отопленням, то вирощують даний продукт в такі періоди:

- осінньо-зимовий;
- весняно-літній.



Рис. 1.2. Внутрішній вигляд теплиці з помідорами.

Розглянемо основні особливості весняно-літньої культури, оскільки тема дипломної роботи передбачає керування вологісним режимом в теплиці при вирощуванні томатів в літній період.

Культура даного овоча ефективна тільки при своєчасній висадці, в гіршому випадку зменшується вихід продукції на 1 кг з м², адже дана розсада більш слабка і не може давати повноцінний урожай, тому висаджують молоду розсаду, коли їй виповнюється лише 30 днів і не більше.

Під час висаджування розсади співробітники теплиці вносять тільки необхідну дозу мінеральних добрив. З початком поганої погоди зменшують число оприскування, приділяють більше уваги вентиляції і профілактиці від

хвороб.

Збір плодів проводять 2 рази в неділю. Температуру землі в теплиці підтримують у межах 17 - 18 °С при відносній вологості 60 - 70%, а при температурі повітря вище 32°С пильця стає стерильною, запліднення не відбувається і цвіт опадає (табл 1.1).

Таблиця 1.1

**Оптимальні параметри мікроклімату в блочних теплицях для
весняно-літнього обороту.**

Оптимальні параметри мікроклімату в блочних теплицях	Помідори до плодоношення	Помідори в період плодоношення
Температура повітря в сонячний день, °С	24-26	20-22
Температура повітря в похмурий день, °С	18-20	17-19
Температура повітря вночі, °С	16-18	15-16
Температура ґрунту, °С	16-19	17-18
Вологість повітря, %	60-70	60-70
Концентрація CO ₂ в повітрі, %	0.1-0.14	0.14-0.16
Швидкість руху повітря, м/с	0.25-0.35	0.35-0.5

Дуже часто в ранні терміни прослідковується занадто швидкий ріст рослин, що наносить невіправної шкоди урожаю.

Це відбувається через те що:

1) надмірна кількість нітратного азоту у ґрунті, помідор саджають в той самий ґрунт, де раніше був посаджений огірок;

2) надмірна кількість вологи, що призводить до надмірного розвитку потужної кореневої системи, адже надзвичайно важливо, щоб в перший час був затриманий ріст кореневої системи.

Щоб цього уникнути зазвичай практикується висадка розсади в контейнерах або горщиках, або в іншому посуді та часткове зменшення поливу та збільшення кількості солей в зоні кореневої системи рослин.

Для одержання високих і стабільних урожаїв помідора треба приділяти особливе значення в підтриманні оптимального режиму температури повітря та вологості.

Для зниження температури в даному середовищі вмикають вентиляцію, а

зимою, коли цього зробити не можна, відключають (повністю або частково) обігрів. Звичайно температура дещо знижується і після включення вентиляції. Позитивно впливає на зниження температури листків (особливо верхніх) і плодоутворення випарне охолодження шляхом дрібнодисперсного обприскування водою верхньої частини рослин 2 - 3 рази в день. Застосовують його лише при жаркій сонячній погоді, але якщо є небезпека розвитку грибкових захворювань, випарне охолодження не застосовують.

При переході з нічного режиму температури на денну не можна допускати появи конденсату на рослинах. У весняно-літній період для помідора небезпечні перегрів повітря в теплицях. У таких випадках застосовують посилену вентиляцію і освіжаючі поливи, ще ефективніше - використання системи випарного охолодження і зволоження.

Не припустимі різкі коливання температури та вологості повітря, так як це призводить до послаблення рослин і появи хвороб.

Отже, одним з важливими параметрами підтримання нормальних умов мікроклімату теплиці і високої урожайності помідора є температура та вологість повітря.

І вже починаючи з першого дня висадження розсади необхідно контролювати параметри мікроклімату теплиці, а особливо дуже важливо вести ретельний контроль влітку, коли температура постійно змінюється, і дії котрі впливають на внутрішній мікроклімат необхідно проводити надзвичайно швидко.

1.3. Мета і задачі дипломного проекту

Ефективність виробництва продукції в тепличних господарствах в умовах сучасної енергетичної кризи значною мірою залежить від запровадження сучасних технологій і менеджменту електроенергії, питання ефективного використання виробничих ресурсів і природно-кліматичних умов набувають особливого значення.

Тому метою даного дипломного проекту є підвищення продуктивності промислового виробництва овочевої продукції шляхом збільшення якості керування вологісним режимом в просторі теплиці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати складові елементи технологічного процесу формування мікроклімату в сучасних промислових теплицях.

2. Для визначення динамічних властивостей розробити математичну модель вологісного стану повітряного середовища.

3. Розробити функціональну та структурну схеми системи електрофікованого регулювання вологісного режиму повітряного середовища в теплиці, обґрунтувати вибір комплексу сучасних засобів електрифікації для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи на базі комплексу технічних засобів ОВЕН. Розрахувати показники якості роботи системи.

4. Обрати необхідне електричне обладнання та розрахувати показники надійності.

5. Розробити електричну принципову схему системи керування з відповідним програмним забезпеченням

1.4. Висновки за розділом 1

Теплиці типу Venlo завдяки своїй модульній конструкції, міцності та адаптивності до кліматичних і технологічних вимог є оптимальним варіантом для вирощування овочів. Їх каркас забезпечує високу міцність, а легкі матеріали конструкції знижують витрати на будівництво та обслуговування.

Керування мікрокліматом у теплиці є ключовим фактором для отримання високих урожаїв. Для цього важливо дотримуватися оптимальних параметрів температури, вологості та вентиляції, особливо в літній період.

Задачі дипломного проекту спрямовані на розробку сучасної автоматизованої системи керування вологісним режимом, що забезпечить підвищення продуктивності вирощування овочів в умовах теплиці.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO

2.1. Вибір електротехнічних пристроїв

Електричні апарати пуску, керування та захисту - це електротехнічні пристрої та механізми, що призначені для вмикання і вимикання, забезпечення певного режиму роботи і для захисту електроспоживачів і електричних кіл. Апарат може виконувати одну або кілька з вказаних функцій.

Для вмикання і вимикання електроспоживачів та електричних кіл і керування ними призначені рубильники, пакетні вимикачі, кнопки керування, ракетно-кулачкові перемикачі, контактори, електромагнітні пускачі та автоматичні вимикачі. Автоматичні вимикачі та електромагнітні пускачі за наявності в них теплових реле виконують також функції захисту електроустановок і електричних кіл. Апаратами захисту є також запобіжники.

Електричні апарати вибирають за родом струму, напругою, потужністю, числом полюсів, вимогами до електричного захисту від нормальних режимів роботи електроспоживачів і електричних кіл та за виконання залежно від умов навколишнього середовища.

Всі електроустановки повинні мати захист від струмів короткого замикання (к.з.). Апарати захисту - практично миттєво повинні вимикати струми к.з. і не спрацьовувати під час пускового струму нормальної тривалості. Електродвигуни потребують також захисту від струмів перевантаження, надмірного спаду напруги та довільного спрацювання.

Електромагнітні пускачі є основними апаратами автоматизованого та автоматичного керування електроустановками. Вони призначені для дистанційного пуску безпосереднім вмиканням у мережу, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим

ротором. За наявності теплового реле пускачі також захищають електродвигуни від перевантажень.

Електродвигуни до робочих машин та механізмів вибирають за наступними параметрами: напругою, родом струму, частотою обертання, умовами оточуючого середовища, характером та значенням навантаження.

При виборі електродвигунів за частотою обертання слід прямувати до того, щоб частота обертання двигуна була якомога ближче до частоти обертання робочої машини.

2.1.1. Вибір електродвигунів

Вихідні дані для розрахунку та вибору:

Вибираємо електродвигун АІР 112М4 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 5.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 11,7 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 85,7\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

АІР - загальнопромислова серія електродвигунів;

112 - габарит двигуна (загальноприйнята відстань від осі обертання до площини кріплення: 112 мм);

М - установчий розмір по довжині станини (S, M, L);

4 - кількість пар полюсів (2, 4, 6, 8, 10) відповідає частоті обертання ротора об / хв (3000 1500, 1000, 750, 600);

УЗ - кліматичне виконання по ДСТУ 15150-69 (в даному випадку - помірний клімат).

Вибираємо Турбовент ВСХ 1100 з такими технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.75 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.3 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 75\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

Вибираємо мотор-редуктор АЛК-75-533 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.1 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 63\%; \quad \cos\varphi = 0,61;$$

2.1.2. Вибір автоматичних вимикачів

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

- а) за типом або серією;
- б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.ав} \geq U_{м} \quad (2.1)$$

де $U_{н.ав}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{м}$ - номінальна напруга електромережі, В;

- в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв} \quad (2.2)$$

де $I_{н.ав}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.дв}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

- г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{нр} \geq 1.25 \cdot I_{н.дв} \quad (2.3)$$

де $I_{нр}$ - номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А;

1,25 - коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання теплового розчіплювача;

- д) за ступенем захисту від дотику обслуговуючого персоналу з частинами, по яким проходить струм, які знаходяться в середині корпусу, від потрапляння під корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ДСТУ 14254-69;

- є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення, згідно ДСТУ 11543-70 і ДСТУ 15150-69.

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1:

$$U_{н} = 380В \quad (2.4)$$

$$I_{н} = I_{н.дв.1} + I_{н.дв.2} + I_{н.дв.3} = 2.1 + 2.3 + 11.7 = 16.1 А. \quad (2.5)$$

$$I_{нр} = 16.1 \cdot 1,25 = 20.12 А. \quad (2.6)$$

Вибираємо автоматичний вимикач ІЕК ВА47-29 3п С 25А (рис. 2.1) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{нав}} = 380\text{В}; I_{\text{нав}} = 20\text{А};$$

$$25\text{А} > 20.12\text{А};$$



Рис. 2.1. Загальний вигляд автоматичного вимикача ІЕК ВА47-29 3п С 25А

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF2:

Для вибору автоматичного вимикача QF2 проводимо розрахунки суми струмів схеми керування, в результаті отримуємо:

$$\Sigma I_{\text{н}} = 1.3 \text{ А} \quad (2.7)$$

Обираємо автоматичний вимикач Legrand TX³ В6, 6кА 1-п (рис. 2.2) наступними технічними характеристиками $U_{\text{нав}} = 230\text{В}; I_{\text{нав}} = 6 \text{ А}$.



Рис. 2.2. Загальний вигляд автоматичного вимикача Legrand TX³ В6, 6кА

1-п

2.1.3. Вибір диференціальних автоматичних вимикачів

Диференційний автоматичний вимикач це пристрій що реагує на диференціальний струм також захищає від надструмів перенавантаження і короткого замикання.

Таким чином він забезпечує три види захисту – захист людини від ураження струмом, запобігає перенавантаженню і короткому замиканню яке може спричинити пожежу.

Вихідні дані для вибору диференціального автоматичного вимикача QFD1:

Так як згідно з технологічними умовами вибрано мотор-редуктор ALK-75-533 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.1 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 63\%; \quad \cos\varphi = 0,61;$$

Отже, для вибору автоматичного вимикача диференціальний автоматичний вимикач QFD1 використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв}} = 2.1 \text{ А}; \quad I_{\text{н.р}} = 2.1 \cdot 1.25 = 2.6 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач Legrand 4P C 10A 3р + N (рис. 2.3) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{нав}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{нав}} = 10\text{А};$$

$$10\text{А} > 2.1\text{А}; \quad 10\text{А} > 2.6\text{А}.$$



Рис. 2.3. Загальний вигляд диференціального автоматичного вимикача Legrand 4P C 10A 3р+N

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QFD2:

Так як згідно з технологічними умовами вибрано Турбовент ВСХ 1100 з такими технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.75 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.3 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 75\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

Отже, для вибору автоматичного вимикача диференціальний автоматичний вимикач QFD2 використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв}} = 2.3 \text{ А}; \quad I_{\text{н.р}} = 2.33 \cdot 1.25 = 2.91 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач Legrand 4P C 10A 3p + N (рис. 4.1.3.) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{н.ав}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{н.ав}} = 10\text{А};$$

$$10\text{А} > 2.33\text{А}; \quad 10\text{А} > 2.91\text{А}.$$

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QFD3:

Так як згідно з технологічними умовами вибрано АІР 112М4 з такими технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 5.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 11,7 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 85,7\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

Отже, для вибору автоматичного вимикача диференціальний автоматичний вимикач QFD3 використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв}} = 11,7 \text{ А}; \quad I_{\text{н.р}} = 11.7 \cdot 1.25 = 14.63 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач «Legrand DX3» 16 А 3p + N (рис. 4.1.3.) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{нав}} = 380\text{В}; \quad I_{\text{нав}} = 16\text{А};$$

$$16\text{А} > 11.7\text{А}; \quad 16\text{А} > 14,63\text{А}.$$

2.1.4. Вибір електромагнітного пускача

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть

використовуватись для електрофікованого керування електродвигунами та іншим електрообладнанням.

Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

- а) за типом або серією;
- б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{\text{наб}} \geq U_{\text{м}} \quad (2.7)$$

де $U_{\text{наб}}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{\text{м}}$, - номінальна напруга електромережі, В;

$$I_{\text{н.м.п}} \geq I_{\text{н.}} \quad (2.8)$$

- в) за номінальним струмом за умовою:

де $I_{\text{н.м.п}}$ - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{\text{н.}}$ - номінальний струм навантаження, А.

- г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{\text{к.мп}} \geq U_{\text{кк.}} \quad (2.9)$$

де $U_{\text{к.мп}}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача, В;

$U_{\text{к.мп}}$ - напруга кола керування, В;

- д) за ступенем захисту;
- є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ1 та КМ2:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.дв.}} = 2.1\text{А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна. Вибираємо електромагнітний пускач КМІ-11010 (рис. 2.4) із наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.м.п}} = 2.1\text{А}; 10\text{А} > 2.1\text{А}.$$

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ3:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.дв.}} = 2.3\text{А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна . Вибираємо електромагнітний пускач КМІ-11010 (рис. 2.1.4.) із наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.м.п.}} = 2.3\text{А}; 10\text{А} > 2.3\text{А}.$$



Рис. 2.4. Загальний вигляд електромагнітного пускача КМИ-11010

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ4:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.дв.}} = 11.7\text{А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна. Вибираємо електромагнітний пускач КМИ-11810 (рис. 2.1.4.) із наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.м.п.}} = 18\text{А}; 18\text{А} > 11.7\text{А};$$

2.1.5. Вибір теплових реле

Теплові реле призначені для захисту асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором від перевантажень недопустимої тривалості та струмів, які виникають при обриві однієї з фаз.

Теплові реле вибирають за умовами:

$$I_{\text{н.дв.}} \leq I_{\text{н.тр}} \quad (2.10)$$

Де $I_{\text{н.тр}}$ - величина номінального струму реле, А;

$I_{\text{н.дв.}}$ - величина номінального струму двигуна, А;

$$1.2I_{\text{н.тр}} \leq I_{\text{нттр}} \quad (2.11)$$

де $I_{\text{ннтр}}$ - величина сили струму не спрацювання, А.

Вихідні дані для вибору теплового реле КК1

Згідно з технологічними умовами вибрано мотор-редуктор ALK-75-533 із наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.5 \text{ кВт}; I_{\text{н}} = 2.1 \text{ А};$$

$$1.2I_{\text{н.тр}} = 1.2 \cdot 2.1 = 2.52 \text{ А}$$

Для силового кола управління для двигуна вибираємо теплові реле типу NR2-10 2.5-4А (рис. 2.5), струм не спрацювання 2.5-4А.



Рис. 2.5. Загальний вид теплового реле NR2-10 2.5-4А

Вихідні дані для вибору теплового реле КК2

Згідно з технологічними умовами вибрано Турбовент ВСХ 1100 із наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.75 \text{ кВт}; I_{\text{н}} = 2.3 \text{ А};$$

$$1.2I_{\text{н.тр}} = 1.2 \cdot 2.3 = 2.76 \text{ А}$$

Для силового кола управління для двигуна вибираємо теплові реле типу NR2-10 2.5-4А (рис. 2.5), струм не спрацювання 2.5-4А.

Вихідні дані для вибору теплового реле КК3

Згідно з технологічними умовами вибрано АІР 112М4 із наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 5.5 \text{ кВт}; I_{\text{н}} = 11.7 \text{ А};$$

$$1.2I_{\text{н.тр}} = 1.2 \cdot 11.7 = 14.04 \text{ А}$$

Для силового кола управління для двигуна вибираємо теплові реле типу NR2-25 12-18А (рис. 2.5), струм не спрацювання 12-18А.

2.1.6. Вибір трипозиційного перемикача

Для вибору режиму керування системою електрофікованої системи регулювання вологості в теплиці обираємо трипозиційний перемикач ЕТІ 04773132 CS 16 12 U (рис. 2.6) з наступними основними характеристиками: $I_s = 16A$; $U_s \geq 220V$.



Рис. 2.6. Загальний вид трипозиційного перемикача ЕТІ 04773132 CS 16 12 U

2.1.7. Вибір реле контролю фаз

Реле контролю послідовності, наявності, перекосу фаз (стежить за правильною послідовністю підключених фаз, наявністю напруги на всіх трьох фазах, відключає електрообладнання якщо фіксує нерівномірні навантаження на фазах).

Обираємо реле контролю фаз РНм-3-25 (рис. 2.7) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{нав}} = 380V; I_{\text{нав}} = 25 A; U_{\text{min}} = 130V; U_{\text{max}} = 270V.$$

де U_{min} та U_{max} - нижня та верхня межа відключення обладнання в разі нерівномірного навантаження на фазах.



Рис. 2.7. Загальний вид реле контролю фаз РНм-3-25

2.1.8. Вибір блоку живлення

Модульний блок живлення Schneider ABL8MEM24006 24В 0,6А (рис. 2.8).

Імпульсне джерело живлення оптимально підходить для застосування в малих системах електрофікованого керування з споживаною потужністю до 15 Вт і напругою 24 В. Форм-фактор і мінімальні розміри джерела дозволяють встановлювати прилад як на монтажну пластину, так і DIN-рейку.

Призначений для живлення графічної монохромної панелі оператора ПІ-320 постійним струмом 24В.



Рис. 2.8. Загальний вид блоку живлення Schneider ABL8MEM24006 24В 0,6А.

2.1.9. Вибір частотного перетворювача

Обираємо частотний перетворювач Овен ПЧВ1,2. (рис. 2.9) для керування приводом вентилятора в теплиці для переміщення повітря.

Основні функціональні можливості:

- Плавний пуск та зупинка двигуна, у тому числі відкладене запускання та пуск під навантаженням за S-подібний характеристикою прискорення;
 - Балансування навантаження та ковзання;
 - Вольт-частотний або векторний алгоритми керування;
 - Автоматична адаптація двигуна без повороту;
 - Автоматична оптимізація енергоспоживання, яка забезпечує найвищий рівень енергоефективності;
- Повна функціональна та апаратна діагностика та захист роботи ПЧ;
- Вбудований мережевий дросель та дросель у ланці постійного струму;
- Вбудований ПІ-регулятор для керування у замкнутому контурі (підтримання тиску, температури, рівня, тощо);
- Гнучка структура керування з можливістю одночасного контролювання за фізичними входами та інтерфейсом RS-485, що забезпечує зручну інтеграцію у сучасні системи керування та диспетчеризації.



Рис. 2.10. Загальний вид частотного перетворювача Овен ПЧВ1, 2

2.2. Вибір проводів та кабелів

Електропроводка – це сукупність проводів і кабелів з усіма належними до них кріпленнями та підтримуючими захисними конструкціями ззовні чи всередині елементів споруд чи будівель.

Внутрішні проводки повинні мати мінімальну протяжність. Переріз струмопровідної жили проводу або кабелю вибирають виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності.

Для сільськогосподарських приміщень рекомендовано такі способи виконання електропроводок:

- відкрита;
- схована;
- кабелем.

Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом:

$$I_{\text{пр.доп}} \geq I_{\text{роз}} \quad (2.12)$$

де $I_{\text{роз}}$ - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

1) Для однофазних споживачів:

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} \quad (2.13)$$

2) Для трифазних споживачів:

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} \quad (2.14)$$

3) Для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \quad (2.15)$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів, визначається за формулою:

$$I_{\text{М.роз}} = K_0 \cdot \Sigma I_{\text{НОМ(роз)}} \quad (2.16)$$

де K_0 - коефіцієнт одночасної роботи споживачів енергії,

$I_{\text{НОМ(роз)}}$ - сума номінальних (розрахункових) сил струму, А.

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М3:

АІР112М з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 5.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 11,7 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 85,7\%; \quad \cos \varphi = 0,83;$$

Розраховуємо струм двигуна згідно із умовою :

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot 5.5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 85,7\% \cdot 0,83} = 11,75 \text{ А} \quad (2.17)$$

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М2:

Турбовент ВСХ 1100 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0,75 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2,3 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 75\%; \quad \cos \varphi = 0,83;$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot 0,75}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 75\% \cdot 0,83} = 1,83 \text{ А} \quad (2.18)$$

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М1:

Мотор-редуктор АLK-75-533 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0,5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2,1 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 63\%; \quad \cos \varphi = 0,61;$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot 0,5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 63\% \cdot 0,61} = 1,98 \text{ А} \quad (2.19)$$

$$I_{\text{НОМ.заг.}} = 11,75 + 1,83 + 1,98 = 15,56 \quad (2.20)$$

Згідно розрахунків обираємо п'ятижильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $2,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГнг (рис. 2.11).

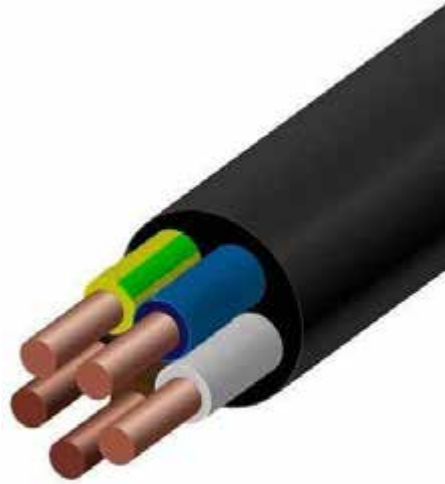


Рис. 2.11. Загальний вигляд кабелю ВВГнг 5х2,5

Для монтажу в щиті використовуємо однотипний провід, який обираємо за максимальним тривало допустимим струмом 10 А.

Обираємо провід ПВ-1 1х0.5 з площею поперечного перерізу 0.5 мм² (рис. 2.12).

ПВ-1 - ПВ з гнучкістю підвищеного ступеня, служить для монтажу, що передбачає вигини.



Рис. 2.12. Загальний вигляд кабелю ПВ-1 1х0.5

2.3. Розроблення електричних схем керування

2.3.1. Розроблення електричної принципової схеми

Принципова електрична схема визначає повний склад елементів і зв'язок між ними, дає детальне уявлення про принцип роботи агрегату.

Принципова схема автоматичного керування вологісним режимом в теплиці зображена на рис. 2.13.

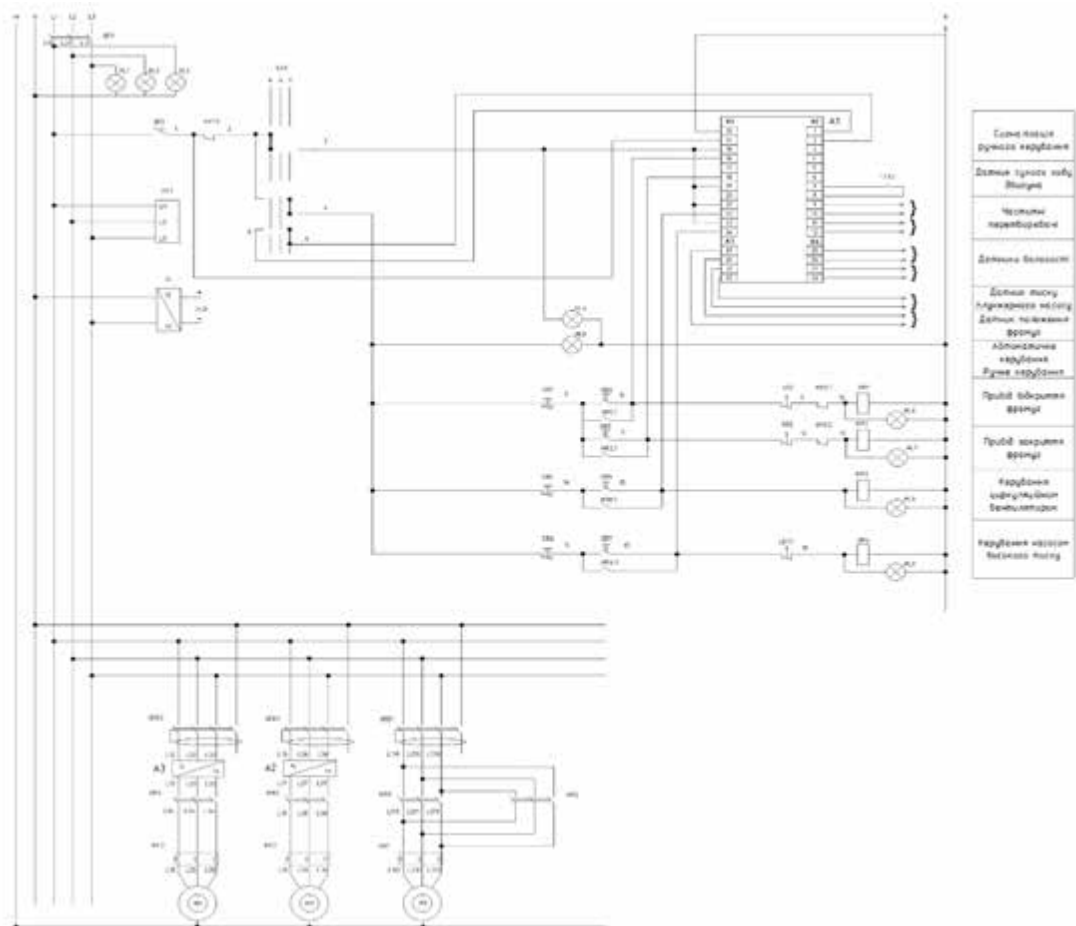


Рис. 2.13. Принципова схема системи електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці

2.3.2. Розроблення схеми з'єднань

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті, не показують, а

замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі проставлено цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично зв'язаний або порядковий номер елемента. Це не загромаджує схему лініями зв'язку, що дає змогу її легко читати.

Згідно з ДСТУ 2.702-75 «Правила виконання електричних схем» схеми з'єднань схеми з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципів схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконана на підставі таких загальних правил:

– схема з'єднань розроблена на щит керування IP54 Билмакс БМ – 93 + П (900x500x300) в якому розміщено всі комутуючі пристрої.

– дотримано норми маркування кабелів, ліній зв'язку за допомогою яких з'єднані всі елементи між собою згідно ДСТУ 2.710-81. «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

Схема зовнішніх з'єднань виконана (рис. 2.14) адресним способом при дотриманні вимог:

Щит керування зображено одній площині, показуючи лише:

1) Передню панель, на якій розміщено автоматичні вимикачі QF1-QF2, кнопки керування SB1-SB7, вимикачі SA1. На лівій бічній панелі розміщено клемник ХТ який служить розв'язкою між елементами які розташовані на передній і задній панелі, на якій розміщені автоматичні пускачі КМ1-КМ4.

2) Вивід затискачів кожного елемента зображено колами, у середині яких показано їхнє заводське маркування.

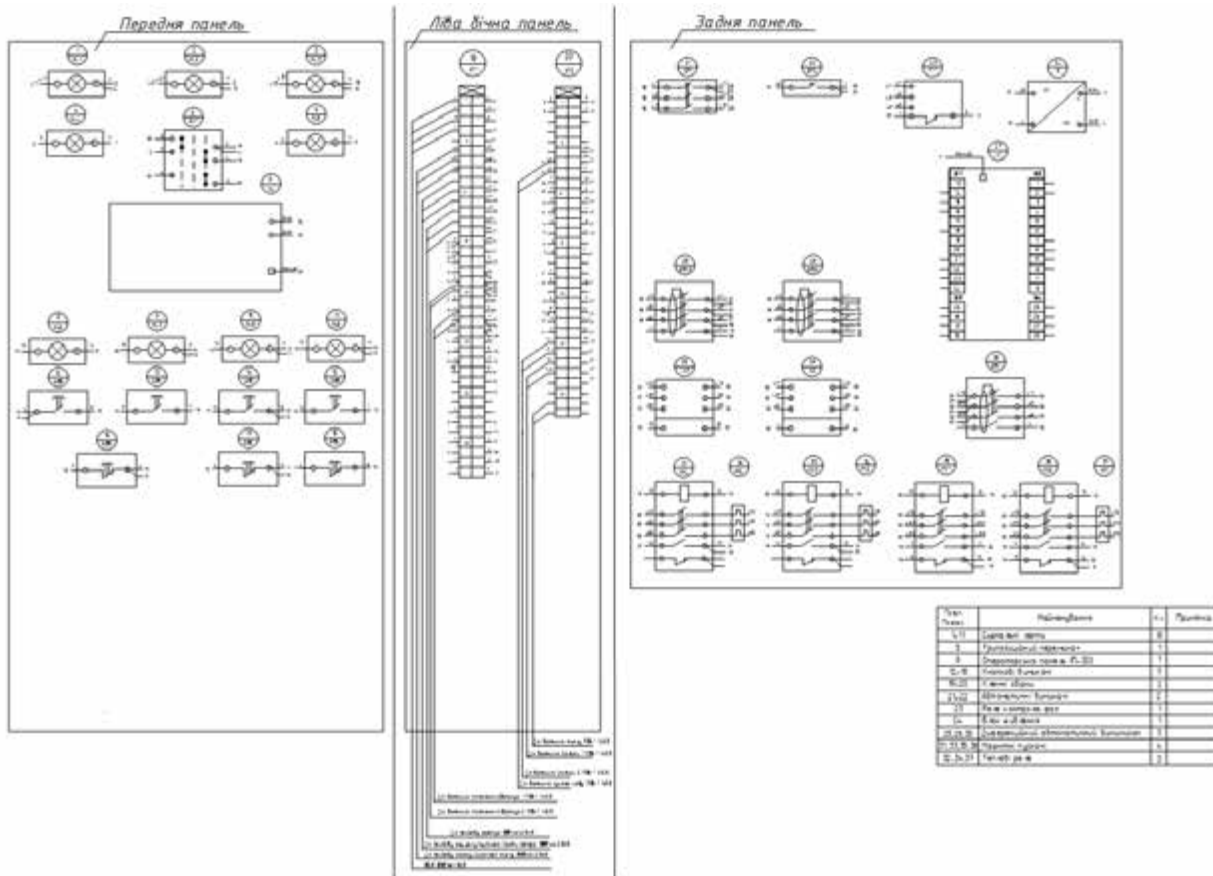


Рис. 2.14. Електрична схема з'єднань схема системи електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці

2.3.3. Розроблення схеми підключень

Схеми підключень показують зовнішнє підключення апаратів, установок, щитів, пультів.

Найбільш поширеною є графічна схема підключень. При цьому умовними графічними позначеннями зображують: первинні перетворювачі; позашитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців термодатчиків, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; забірну апаратуру, елементів для з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами. На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), переріз та

довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби).

Схеми підключень виконують без збереження масштабу у вигляді, зручному для користування (рис. 2.15).

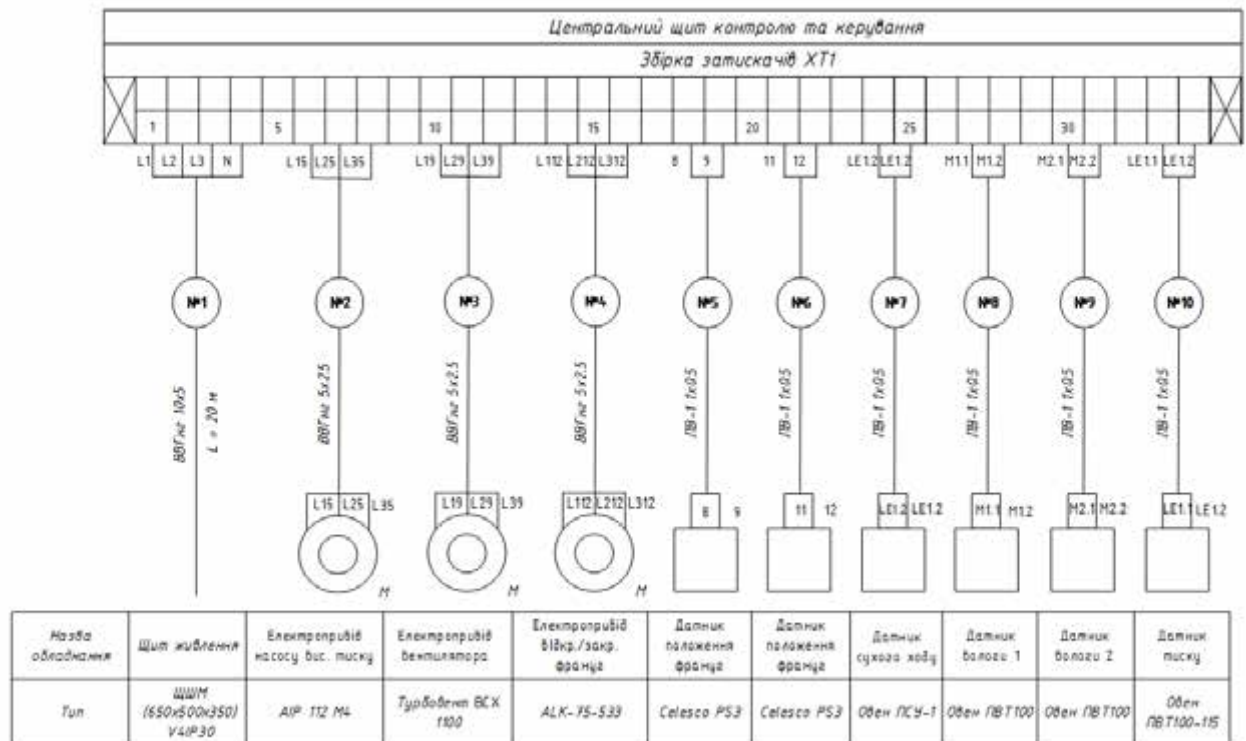


Рис. 2.15. Електрична схема підключень системи електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці

2.4. Висновки за розділом 2

У процесі проектування електрообладнання для теплиці типу Venlo:

Обґрунтовано вибір електротехнічних пристроїв для пуску, керування та захисту електродвигунів.

Проведено розрахунки та здійснено вибір електродвигунів (AIP 112M4, Турбовент ВСХ 1100, мотор-редуктор ALK-75-533) відповідно до технічних умов і експлуатаційних характеристик.

Розраховано та підібрано автоматичні вимикачі, що забезпечують захист електричних кіл від струмів короткого замикання, перевантажень і перенапруг.

Здійснено вибір диференціальних автоматичних вимикачів для забезпечення додаткового захисту від витоків струму, перевантажень і коротких замикань.

Визначено параметри та обрано електромагнітні пускачі для дистанційного керування електродвигунами.

Розраховано та обрано теплові реле для захисту електродвигунів від перевантажень і фазних порушень.

Результати розрахунків і підбір компонентів підтверджують їх відповідність технічним вимогам теплиці Venlo та забезпечують надійність і ефективність електропостачання.

РОЗДІЛ 3

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛИЦІ

3.1. Розробка та дослідження математичної моделі теплиці

В тепличному підприємстві відбувається обмін вологи. На кількість вологи впливає температура і активність процесу фотосинтезу і інші чинники. Складаємо схему потоків вологи.

На рис. 3.1. зображена схема вологи в статичному режимі.

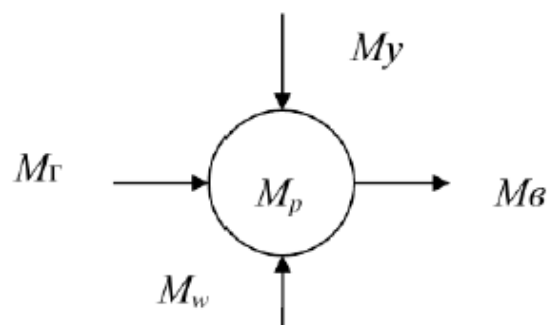


Рис. 3.1. Схема потоків вологи в теплиці з вентиляцією

де M_r – вологість в теплиці;

M_y – вологість уведена і виведена з вентиляційним повітрям;

M_r – вологість від випаровування з ґрунту;

M_w – вологість від розпилювання води.

Ефективність зволоження повітря шляхом розпилювання води визначається дисперсністю рідкої фази та різницею парціальних тисків і кількісно може бути оцінена інтенсивністю випаровування краплин за формулою Максвелла:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_k(\tau) \cdot D(\theta) \cdot m_w \cdot [P_H(\theta) - P(d)]}{R \cdot T}, \quad (3.1)$$

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;

P_H, P – парціальний тиск пари над поверхнею краплі та в оточуючому середовищі, Па.

Рівняння Максвела також записують у вигляді:

$$-\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = 4 * \pi * r_k * D * \frac{P_v}{P_w} (d_n - d_c) * 10^3, \quad (3.2)$$

де d_n, d_c – вологовміст повітря над поверхнею краплі та в повітрі, г/кг;

P_w – густина повітря кг\м².

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:

$$m_v \frac{di_2}{d\tau} = G_w * i_w * G_v (i_2 - i_1), \quad (3.3)$$

$$m_w C_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = G_v (d_2 - d_1) r + G_w (\theta_w - \theta_w) C_w + G_v C_v (t_1 - t_2), \quad (3.4)$$

$$i_w = \frac{i_2 + i_1}{(d_2 - d_1) * 10^{-3}}, \quad (3.5)$$

де i_w – ентальпія води, кДж/кг;

$$i_w = c_w \theta_w = 4.19 \theta_w, \quad (3.6)$$

Враховуючи що $i_w = a_1$, сумісним розв'язком для сталого режиму отримано рівняння:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v a} (4.19 + \theta_w - b * 10^{-3}) + t_1, \quad (3.7)$$

з якого визначено, що температура повітря при зволоженні дрібно розпиленою водою не залежить від вологовмісту і визначається витратами повітря і води та температурою води, яка подається в розпилувач.

$$m_v \frac{dM_p}{d\tau} = G_w * d_w - G_v (M_p - d_1), \quad (3.8)$$

Використовуючи наближений запис для ентальпії вологого повітря:

$$i_v = c_p t_v + r_0 d_v r_0 = 2500, \quad (3.9)$$

розв'язком (3.6) отримано диференціальне рівняння, що описує динаміку змінення вологості повітря в теплиці:

$$\frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w * 10^3 + G_v d_1, \quad (3.10)$$

Отже, отримана математична модель зміни параметрів мікроклімату в теплиці (температура, вологість) описується системою диференційних рівнянь:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_p) - \frac{k_1 * F_t (t_v - t_p)}{c_v V_v \rho_v}, \quad (3.11)$$

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{c_v V_v \rho_v}, \quad (3.12)$$

$$\frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w * 10^3 + G_v d_1, \quad (3.13)$$

Для створення моделі об'єкту розрахуємо коефіцієнти теплопередачі з урахуванням розмірностей змінних:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{a_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{a_{tp}}} = 14.765, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{град}}. \quad (3.14)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{a_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{a_{cz}}} = 4.284, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{град}}. \quad (3.15)$$

Довжина нагрівальних труб при об'ємі системи опалення 80 м³ діаметрі труби 40 мм складе:

$$L = \frac{80}{\frac{\pi * 0.040^2}{4}} = 63661.9, \text{ м}. \quad (3.16)$$

а її поверхня теплообміну:

$$F_t = 63661.9 * \pi * 0.044 = 8799.9, \text{ м}^2. \quad (3.17)$$

Поверхню заскленої теплиці порахуємо, умовно вважаючи форму теплиці прямокутною:

$$F_c = 18000 * 8000 * 2 * 3 = 66000, \text{ м}^2. \quad (3.18)$$

а об'єм повітря в теплиці буде дорівнювати:

$$V_v = 18000 * 3 = 54000, \text{ м}. \quad (3.19)$$

Час запізнення розраховуємо по формулі:

$$\tau_c = \frac{80}{4 * \frac{270}{3600}} = 266.667, \text{ с}. \quad (3.20)$$

Для зручності формування імітаційної, блочної, моделі введемо додаткові коефіцієнти:

$$a_1 = k_1 F = 14.765 * 8799.9 = 129930.5, \quad (3.21)$$

$$a_2 = k_2 F = 4.284 * 66000 = 282942, \quad (3.22)$$

$$b_1 = C_v V_v p_v = 100 * 14.74 * 80 = 1.18 * 10^5, \quad (3.23)$$

$$b_2 = C_v V_v p_v = 100 * 14.74 * 80 = 1.18 * 10^5, \quad (3.24)$$

Для рівняння вологості розв'язки мають вигляд:

$$t_2(\tau) = B - (B - t_{20}) e^{\frac{\tau}{T_v}}, \quad (3.25)$$

$$d_2(\tau) = A_1 - (A_1 - d_{20}) e^{\frac{\tau}{T_v}}, \quad (3.26)$$

$$\varphi_2 = \frac{10^5 * dz}{622(232.7 * t_2 - 2394)}, \quad (3.27)$$

де

$$T_v = \frac{m_v}{G_v}, \quad (3.28)$$

$$B = \frac{G_w}{G_v G_p} (4.28 * \theta_w - r_0) + t_1, \quad (3.29)$$

$$A = \frac{G_w}{G_v} 10^3 + d_1, \quad (3.30)$$

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

Отже, приведемо математичну модель до операторного вигляду:

$$\left\{ T_1 \frac{dt_v}{d\tau} + t_v = k_1 t_g + k_2 t_p \right. T_2 \frac{dt_p}{d\tau} + t_p = k_3 t_v - k_4 t_z \left. T_3 \frac{dM_p}{d\tau} + M_v = k_5 G_w + k_6 G_v - k_7 t_z, \right. \quad (3.31)$$

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

$$T_1 \frac{C_v V_v p_v}{k_1 F_1}; T_2 \frac{C_v V_v p_v}{k_2 F_2}; T_3 \frac{m_v}{G_v}; k_2 = \frac{2}{V_v}; k_2 = \frac{k_1 F_1}{C_v V_v p_v}, \quad (3.32)$$

$$k_3 = \frac{k_1 F_1}{C_p V_p p_p}; k_4 = \frac{k_2 F_2}{C_z V_z p_z}; k_5 = d_w; k_6 = d_1; k_5 = d \frac{G_v}{F_c}. \quad (3.33)$$

3.1.1. Імітаційне моделювання вологісного режиму в теплиці з використанням MATLAB

Наступним етапом є створення на базі математичної моделі імітаційної моделі з використанням пакету прикладних програм Simulink MATLAB і проведення дослідження даної моделі для отримання характеристик об'єкта.

Система моделювання Simulink створюється в середовищі MATLAB і працює з використанням функцій цього пакету. Система призначена для роботи з моделями, які можна зобразити у вигляді блок-схем. Він являє собою пакет програм для побудови моделей, моделювання і аналізу динамічних систем.

Використовуючи блоки *Constant* введемо значення коефіцієнтів a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , b_3 , продуктивність насоса G_p , об'єм повітря в теплиці V_v , температуру гарячої води t_g , вологовиділення всіх рослин W_t , продуктивність системи вентиляції V_v і густину повітря ρ_p . Оскільки температура і вологовміст зовнішнього повітря є збуренням моделі і далі може бути використана при моделюванні керування об'єктом, введемо їх за допомогою блоку *Step*. Порахуємо час запізнення τ_z і введемо його на каналі подачі води насосом за допомогою блоку *Transport Delay*.

Далі, використовуються математичні блоки *Product* і *Sum*, виконаємо операції між змінними правих частин рівнянь. Значення вологовмісту повітря d_p в приміщенні беремо після блоку *Integrator*. Результат обчислення правої частини рівняння посилаємо на блок рішення диференційного рівняння *Integrator*.

На рис. 3.2. зображено схему моделі вентиляції блочних теплиць.

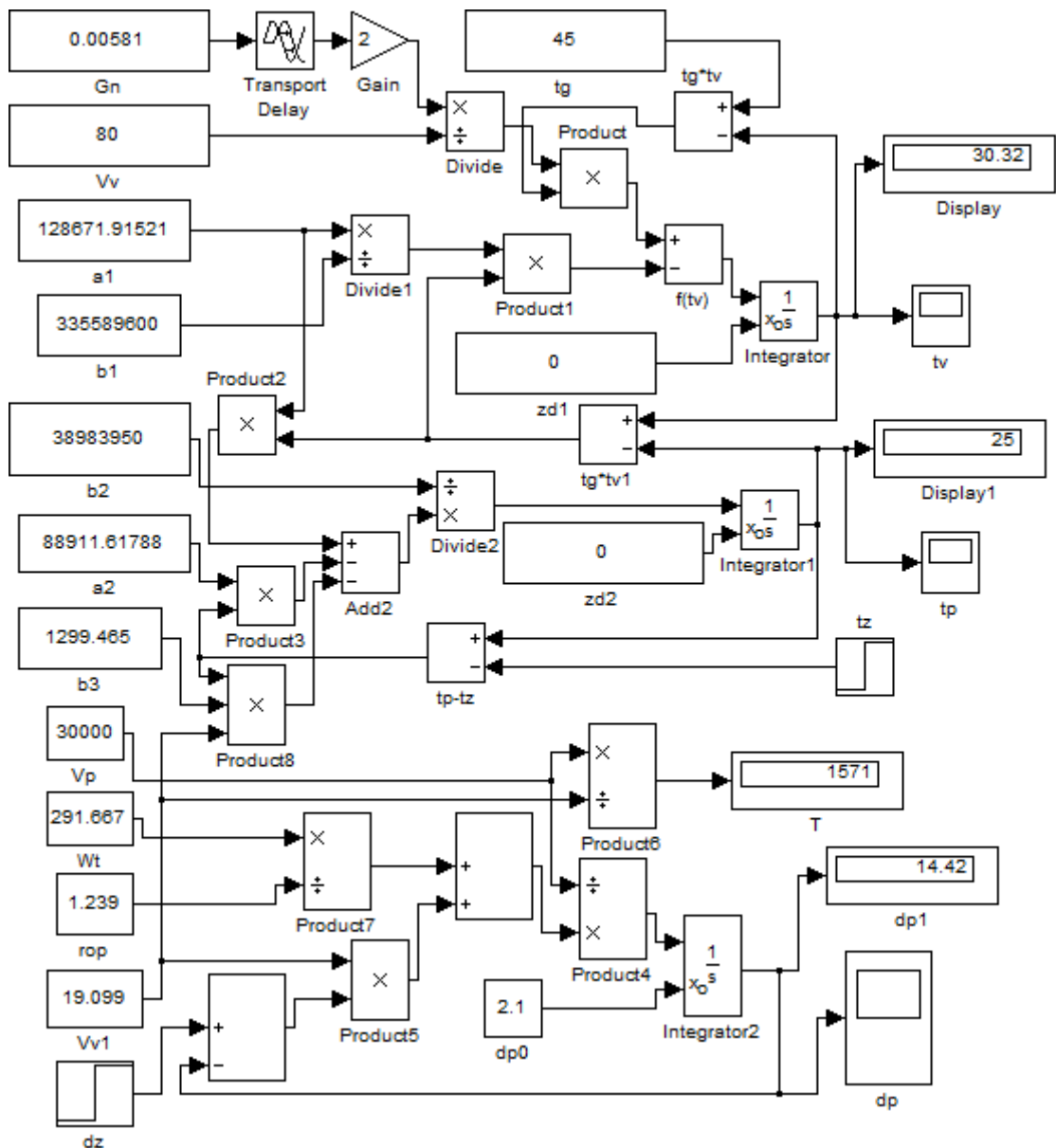


Рис. 3.2. Схема моделі обміну вологості в блочних теплиць

В блоках додавання і множення правильно вкажемо операції додавання і віднімання, множення і ділення. В блоці *Integrator* вкажемо, що початкове значення вологовмісту в приміщенні вводиться за допомогою зовнішньої команди **external**. Коли з'явиться додатковий вхід до нього приєднаємо блок *Constant*, в який і введемо початкове значення вологовмісту в приміщенні по значенню вологовмісту зовнішнього повітря.

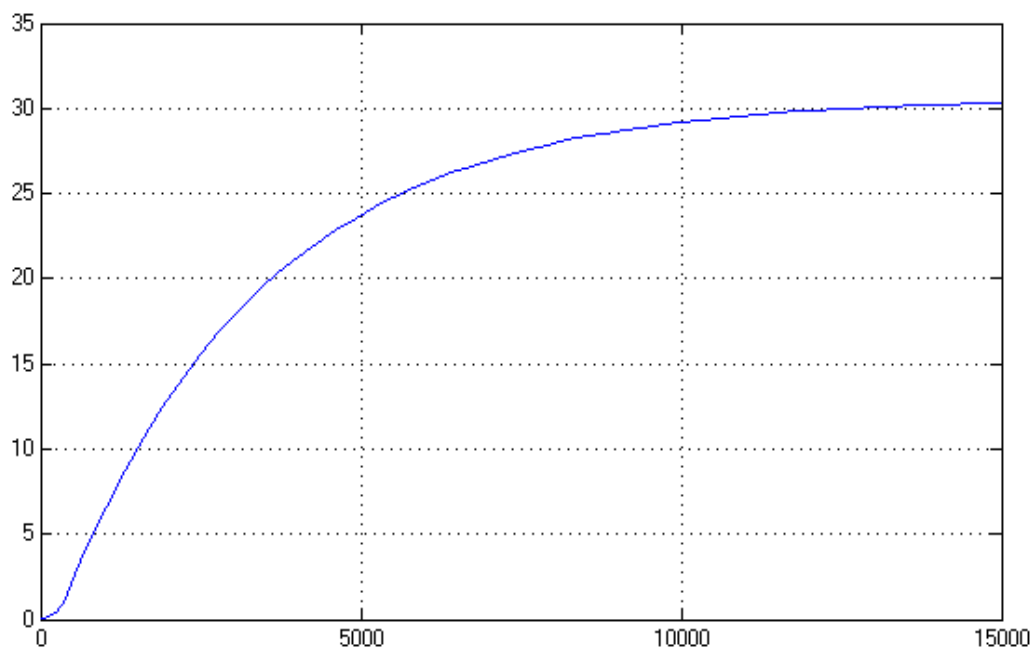


Рис. 3.3. Розгінна крива зміни температури води в опалювальній системі

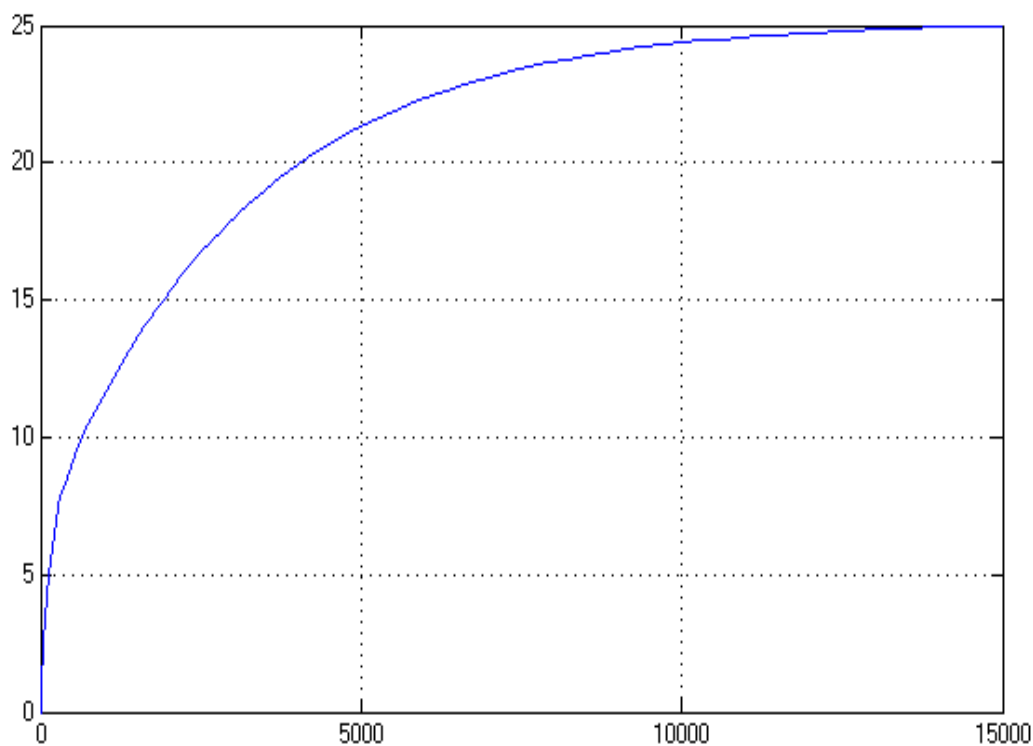


Рис. 3.4. Розгінна крива зміни температури повітря в приміщенні блочних теплиць

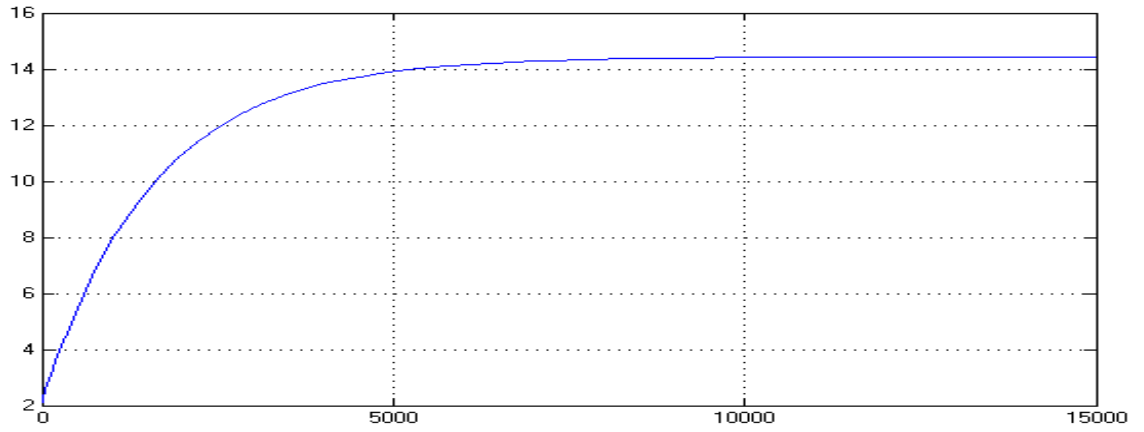


Рис. 3.5. Розгінна крива зміни вологовмісту в приміщенні

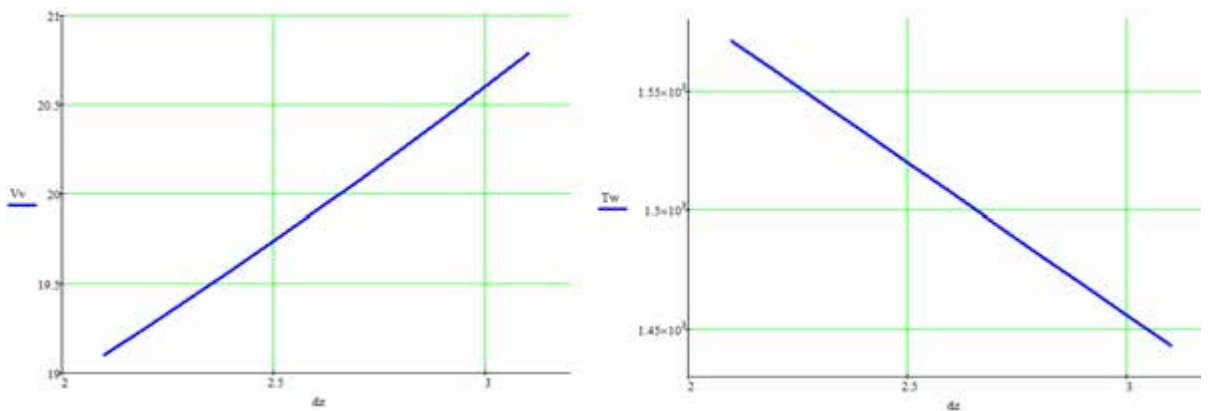


Рис. 3.6. Залежності зміни витрат вентиляційного повітря V_v , м³/с і постійної часу по каналу регулювання T_w , від вологовмісту повітря

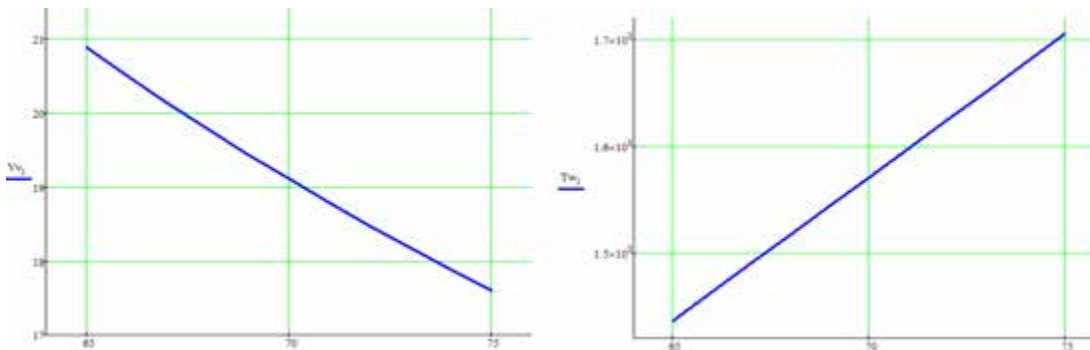


Рис. 3.7. Залежності зміни витрат вентиляційного повітря V_v , м³/с, і постійної часу по каналу регулювання T_w , від вологості повітря теплиці

3.1.2. Розробка функціональної схеми системи електрофікованого керування вологістю повітря в теплиці

На рис. 3.8. зображено функціональну схему електрофікованої системи керування вологістю в теплиці при вирощуванні томатів.

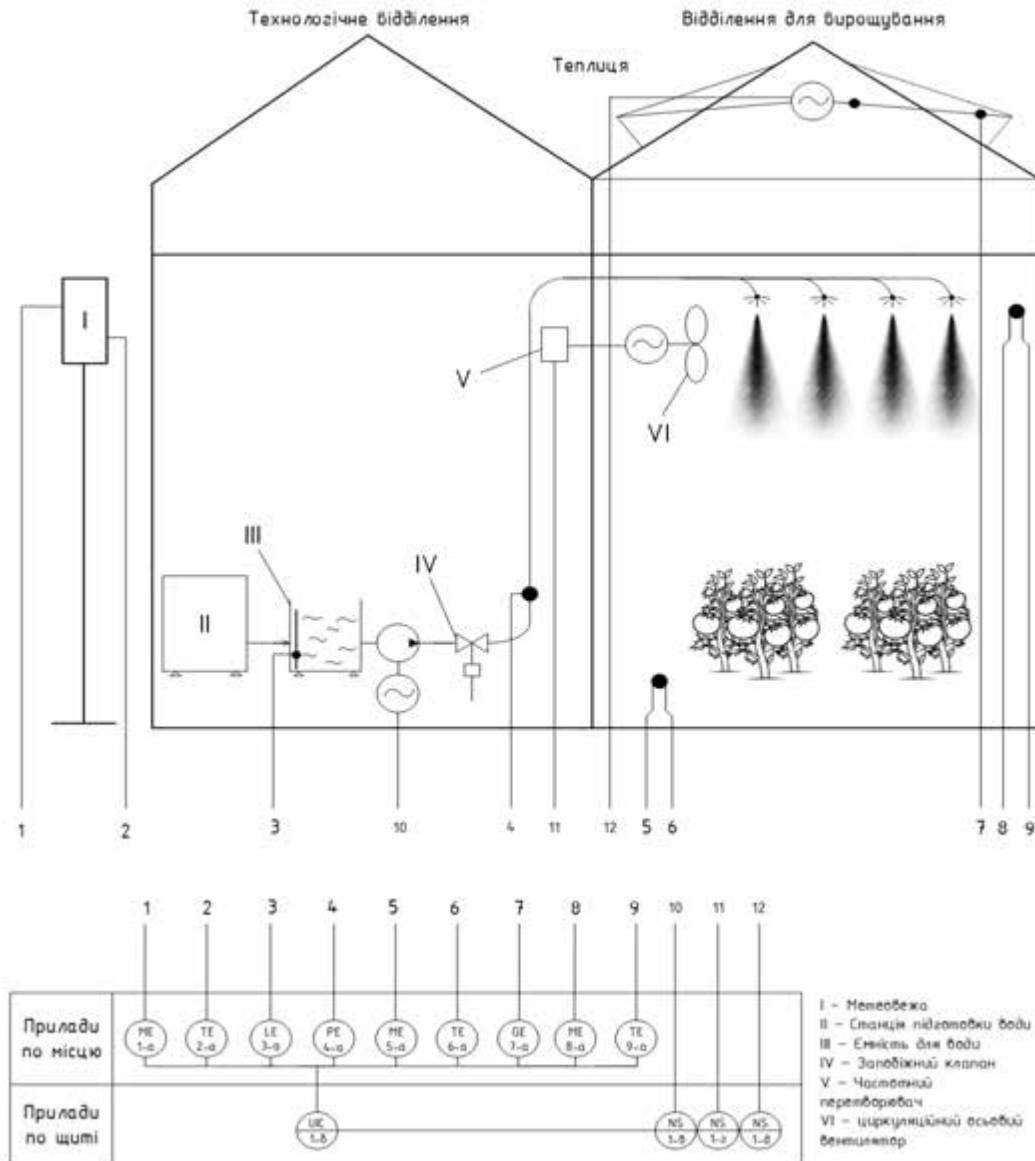


Рис. 3.8. Функціональна схема електрофікованої системи керування вологістю в теплиці при вирощуванні томатів.

На рис. 3.9. зображено функціонально-технологічну схему електрофікованого управління технологічними процесами в теплиці з умовним зображенням щита керування.

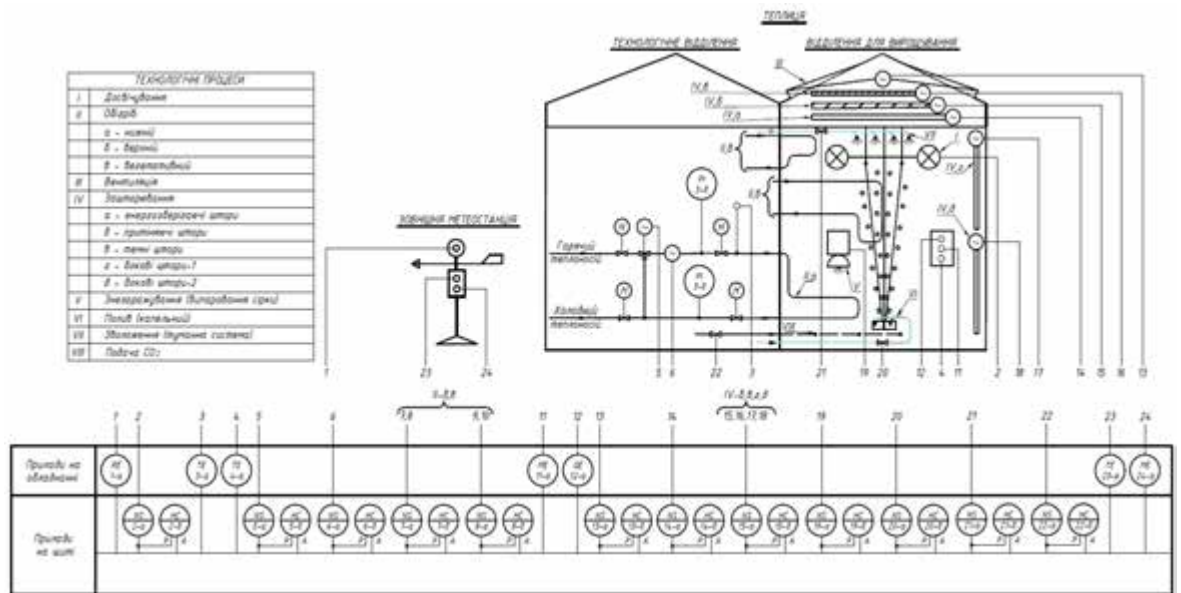


Рис. 3.9. Функціонально-технологічна схема електрофікованого управління технологічними процесами в теплиці з умовним зображенням щита керування

На рис. 3.10. зображено функціонально-структурна схема електрофікованої системи управління по каналу регулювання вологості в теплиці.

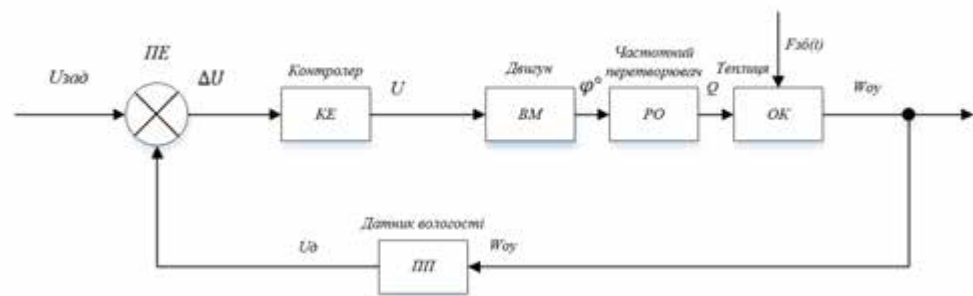


Рис. 3.10. Функціонально-структурна схема електрофікованої системи управління по каналу регулювання вологості в теплиці

На функціональній схемі електрофікованої системи управління зображені такі основні елементи:

KE - керуючий елемент (регулятор);

BM - виконавчий механізм (двигун);

PO - регулюючий орган (частотний перетворювач);

OK - об'єкт керування (теплиця);

$ПП$ - первинний перетворювач (датник вологості «ПВТ100»);

$U_{\text{зад}}$ - задане значення вологості;

$U_{\text{ок}}$ - вологість повітря в теплиці;

$$\Delta U = U_{\text{зад}} - U_{\text{ок}};$$

Φ - значення вологості, що вимірюється;

U - напруга керування;

$F_{\text{зб}}$ - збурююча дія на ОК.

3.2. Вибір алгоритму керування

Алгоритм керування визначається з урахуванням динамічних властивостей об'єкта. Також враховуються при цьому показники якості, що повинні забезпечувати технологічні вимоги.

Згідно літературних джерел регулятор обирають за величиною відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування:

$0,2 \leq \tau/T \leq 1$ – лінійний алгоритм керування;

$\tau/T > 1$ – алгоритм для імпульсних систем керування;

$\tau/T < 0,2$ – пропорційний алгоритм керування.

3.3. Вибір датчиків

Для вимірювання вологи повітря в теплиці вибрано датчик вологості та температури повітря – Овен ПВТ100 (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд датчика вологості повітря Овен ПВТ100.

Даний датчик за своїми технічними характеристиками відповідає умовам використання для теплиці. Технічні характеристики сприймаючого елемента наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики датника Овен ПВТ100

Діапазони вимірювання відносної вологості RH	Абсолютна похибка вимірювання вологості	Ступінь пиловологозахисту	Інтерфейси та протоколи, що підтримуються
0-100%RH	RH= 20-80%	IP65	Аналоговий вихід 4...20мА

В загальному вигляді передатна функція датчика має вигляд:

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

де K_{CE} – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента.

Додатково необхідно вимірювати тиск в трубопроводі високого тиску для запобігання аварійних ситуацій. Обираємо датчик тиску Овен ПД100-115 (рис. 3.12).

Датчики Овен ПД100 моделі 115 є перетворювачами тиску з вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі та «польовим корпусом» з кабельним вводом під гнучкий кабель 6 – 8 мм.

Ця модель характеризується підвищеною стійкістю до експлуатування у важких умовах. (табл. 3.2).



Рис. 3.12. Загальний вигляд датчика тиску Овен ПД100-115.

Таблиця 3.2

Основні технічні характеристики датника тиску Овен ПД100-115

Діапазони вимірювання тиску	Основна зведена похибка	Ступінь пиловолого захисту	Вихідний сигнал постійного струму
Від 10 кПа до 40 МПа.	0,25; 0,5 % ВМВ	IP65	Аналоговий вихід 4...20мА

Для вимірювання рівня води в ємності для зберігання води використовуємо Овен ПСУ-1 (рис. 3.13). Підвісний сигналізатор рівня, що забезпечує відключення насоса високого тиску в разі недостатньої кількості

води для нормальної роботи.

Підвісний сигналізатор рівня призначений для керування наповненням або спорожненням резервуарів з водою та іншими неагресивними до матеріалу ПСУ рідинами, в тому числі такими, що містять тверді включення.

Датчики залежно від виконання випускаються з неопреновим кабелем довжиною 5, 10 і 20 метрів.



Рис. 3.13. Загальний вигляд Овен ПСУ-1 підвісного сигналізатора рівня

Принцип дії

Поплавковий вимикач кріпиться на міцному гнучкому кабелі та містить герметично закритий мікроперемикач.

Під час занурення датчика в рідину його корпус відхиляється, що викликає спрацювання мікроперемикача. Мікроперемикач замикає / розмикає електричний ланцюг, таким чином вмикається / зупиняється виконавчий механізм (насос, вентиль тощо). На малюнку схематично представлено перемикання ПСУ для керування пристроями в разі досягнення (1) мінімального і (2) максимального рівнів спрацювання (рис. 3.14).

Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1

Поплавковий вимикач застосовується для контролю рівня стічних вод, хімічно агресивних рідин або харчових продуктів. Застосування ПСУ-1 в якості сигналізатора рівня вигрібної ями, стічних вод або каналізації дозволяє легко організувати схему управління насосом.

Сигналізатори рівня ПСУ-1 можуть працювати при температурах від 0 до +70 ° С в хімічно агресивних середовищах. Матеріал датчика - поліпропілен, матеріал кабеля - неопрен.

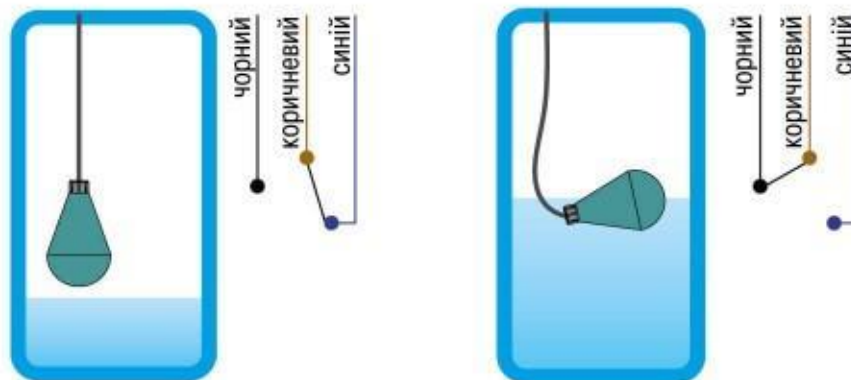


Рис. 3.14. Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1

Тросовий датчик лінійного переміщення використовується для визначення положення фрамуг та контролю початкового та кінцевого положень.

Тросовий датчик Celesco SP3 компактний перетворювач лінійних переміщень від 0 до 1270 мм з аналоговим вихідним сигналом (рис. 3.15). Celesco SP3 має компактне виконання для обмежених просторів і розрахований на велику кількість циклів вимірювань.

Технічні характеристики:

- Вихідний сигнал: аналоговий 4 ... 20 мА;
- Матеріал датчика: корпус - полікарбонат, кронштейн - нержавіюча сталь;
- Температура навколишнього середовища: -18 ° ... + 70 ° С;
- Ступінь захисту: IP50;
- Діапазон вимірювання: 120мм / 317мм / 635мм / 1270мм;
- Точність: 0,25% від діапазону вимірювання;
- Повторюваність: 0,05% від діапазону вимірювання;

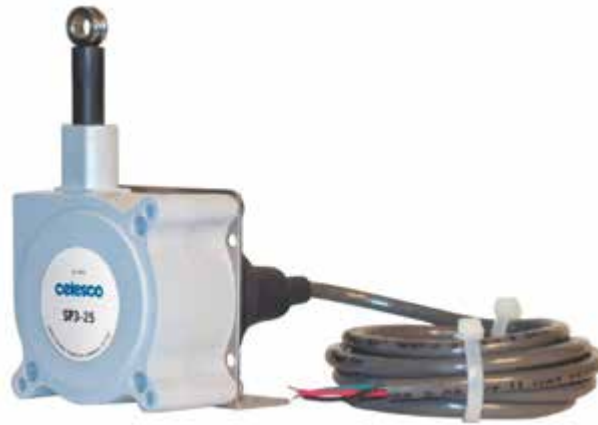


Рис. 3.15. Загальний вигляд тросового датчика лінійного переміщення Celesco SP3

3.4. Вибір виконавчих механізмів

Система туманоутворення - один з найбільш прогресивних методів зволоження ґрунту та рослин. Суть технології полягає в розпиленні на ділянці дрібнодисперсних частинок води. При цьому відбувається не тільки зволоження ділянки, але і зміна температури (рис. 3.16).

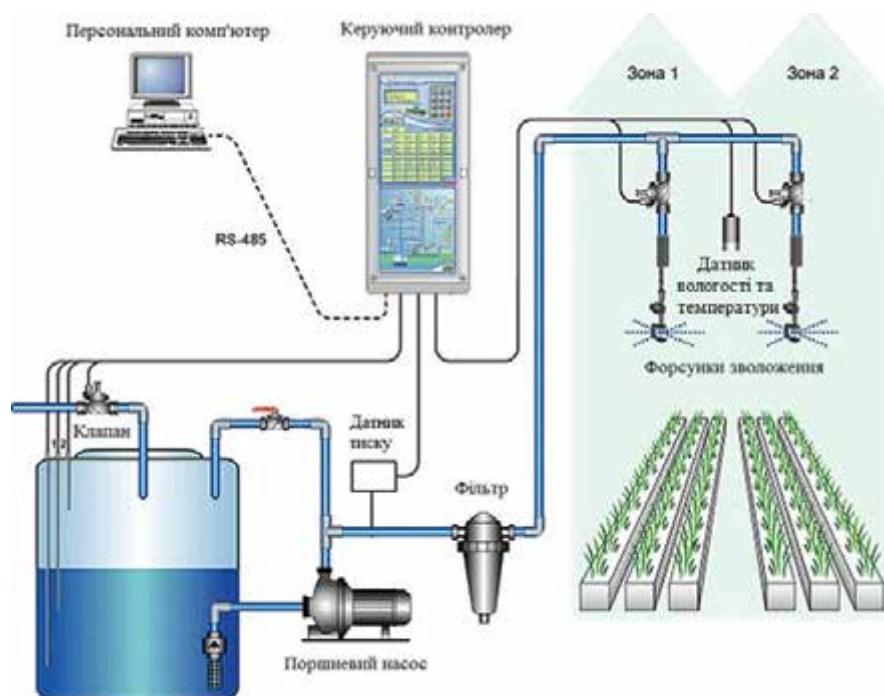


Рис. 3.16. Загальний вигляд системи туманоутворення

Для коректної роботи системи туманоутворення оберемо відповідні виконавчі механізми. Для цього проведемо ряд розрахунків:

Електродвигун

Формула для визначення потужності (кВт) електродвигуна для насоса високого тиску:

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} 100\% = \frac{1.1 \cdot 9810 \cdot 0.9 \cdot 18}{1000 \cdot 0.95 \cdot 3600 \cdot 1.0} 100\% \approx 5.11 \text{ кВт}; \quad (3.34)$$

де k – коефіцієнт запасу (1.1 – 1.4);

γ – питома вага рідини, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ (для холодної води дорівнює $9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$);

Q – продуктивність насоса, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

H – натиск насоса, м;

η_n – ккд для насоса, для плунжерних (поршневих): 0.9 – 0.98;

η_p – ккд передачі при безпосередньому з'єднанні насоса з двигуном $\eta_p = 1$

3600 – коефіцієнт переведення продуктивності з $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ в $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$.

Використовуючи розрахунки, приймаємо в якості виконавчого механізму асинхронний трифазний електродвигун АІР112М4 загальнопромислового застосування для роботи від напруги 220/380В при частоті 50 Гц (рис 3.17).



Рис 3.17. Загальний вигляд електродвигуна АІР 112М4

Насос високого тиску

Серцем кожної системи туманоутворення є насос високого тиску.

Саме тому було вибрано плунжерний (поршневий) насос високого тиску італійського виробництва HAWK NHD 1520 CR (рис. 3.18) через такий ряд переваг як:

- 1) використання колінчатого валу є найкращим рішенням, що забезпечує довговічність експлуатації.
- 2) Повністю керамічні поршні значно більше зносостійкі до навантажень.
- 3) Головка з латуні дозволяє створювати більший тиск, що важливо для утворення краплі меншого діаметра на виході, щоб забезпечувати якісний туман.
- 4) Для легкості і швидкості обслуговування в насосах застосовуються клапана швидкого доступу.



Рис 3.18. Загальний вигляд плунжерного насосу високого тиску «HAWK NHD 1520 CR».

В табл. 3.4. наведені основні технічні характеристики плунжерного насосу високого тиску HAWK NHD 1520 CR.

Основні технічні характеристики

Модель насосу	Тиск, бар	Продуктивність, (л/хв)	Потужність приводу, кВт	Оберти, об/хв
NHD 1520CR	200	15	5.1	1450

Схематичне зображення підключення насоса високого тиску зображено на рис. 3.19.

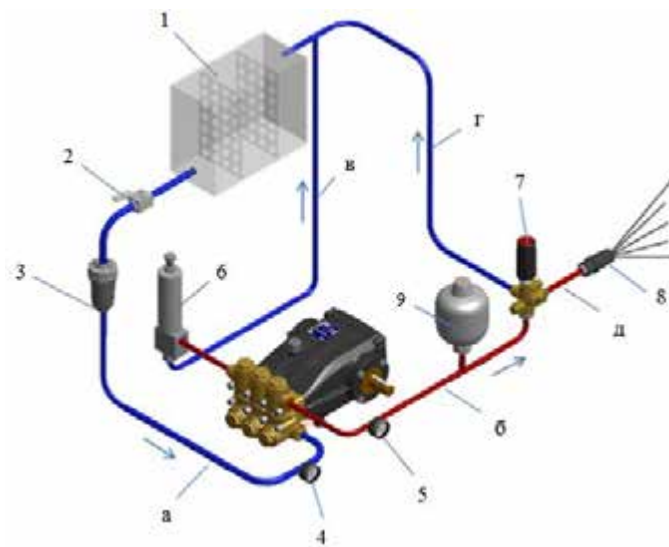


Рис. 3.19. Схематичне зображення підключення насоса високого тиску

- 1) Ємність або водопостачання від мережі;
- 2) Запірний клапан;
- 3) Всмоктуючий фільтр;
- 4) Датник тиску на вході;
- 5) Манометр ВТ;
- 6) Запобіжний клапан;
- 7) Регулятор і байпасний клапан;
- 8) Вихідна форсунка (дюза);
- 9) Гідрокомпенсатор;
- а) Лінія подачі;

- б) Вихідна лінія високого тиску;
- в) Лінія запобіжного клапана випуску;
- г) Трубопровід BY-PASS;
- д) Випускний трубопровід від клапана.

Форсунки

Розпилення води здійснюється через спеціальні форсунки.

Система туманоутворення використовує форсунки латунно-сталеві або ж повністю з нержавіючої сталі в залежності від потреб (рис. 3.20).

Протикраплинні розбірні форсунки (забезпечують відсутність капання з форсунки при виключенні системи). У системах туманоутворення використовуються форсунки з діаметром отвору від 15 до 120 мкм.



Рис. 3.20. Загальний вигляд протикраплинної розбірної форсунки.

Монтаж систем туманоутворення

Для монтажу систем туманоутворення найбільшою популярністю користується технологія установки за допомогою запресовки на основі гнучкої багатошарової пластикової труби (рис. 3.21).

Завдяки тришаровій конструкції труба має такі характеристики:

- Висока міцність на розрив;
- Висока гнучкість (мінімальний радіус вигину - 45 мм) забезпечує великі можливості при монтажі;
- Висока зносостійкість і стійкість до хімічного впливу;

- Низькі втрати тиску;
- Робочий тиск 200 Бар;
- Тиск розриву 800 Бар.



Рис. 3.21. Загальний вигляд протикраплинної розбірної форсунки.

Потрійне з'єднання багат шарових труб є розбірним і дозволяє регулювати напрямок форсунки навіть після опресування, що спрощує розбирання системи в кінці сезону, а також дозволяє змінювати і розширювати конфігурацію системи.

Вентилятори

Для перемішування повітря всередині теплиці регулючим органом вибрано вентилятор. Основною функцією якого буде розповсюдження повітря по всіх зонах секції для урівнювання температури у всьому просторі теплиці.

Вибрано вентилятор Турбовент ВСХ 1100. (рис. 3.22).



Рис. 3.22. Зовнішній вигляд вентилятора Турбовент ВСХ 1100

Технічні характеристики вентилятора

Діаметр крильчатки, мм	Швидкість обертів, об/хв	Продуктивність, м ³ /год	Потужність приводу, кВт	Напруга живлення, В
1000	600	32500	0.75	380

Габаритні розміри вентилятора рівні 1100x1100x400 (мм).

Передатна функція вентилятора має вигляд:

$$W_{\text{BM}}(s) = \frac{K_{\text{BM}}}{T_{\text{BM}} \cdot s + 1} \quad (3.35)$$

Постійну часу виконавчого механізму визначаємо:

$$T_{\text{BM}}(s) = \frac{I(S \cdot w_{\text{H}})}{2M_x} = 22 \text{ с.} \quad (3.36)$$

де $S=0.1 \text{ мм}^2$ (ковзкість);

$I = 17 \cdot 10^{-3}$ (момент інерції).

Визначаємо коефіцієнт виконавчого механізму, знаходиться з відношення номінальної частоти обертання до номінальної напруги:

$$k_{\text{BM}} = \frac{w_{\text{H}}}{U_{\text{H}}} = \frac{600}{380} = 1.5 \quad (3.37)$$

Передатна функція матиме вигляд:

$$W_{\text{BM}}(s) = \frac{1.5}{22 \cdot s + 1} \quad (3.38)$$

Система вентиляції фрамугами

Система вентиляції теплиці призначена для природного провітрювання зовнішнім повітрям через фрамуги для підтримки оптимальної температури і вологості (рис. 3.23).

Фрамуги надходять вже зібраними на заводі. Це забезпечує їх бездоганну геометрію. Для економії тепла фрамуги мають по периметру ущільнювачі зі спеціальної гуми, які забезпечують щільне примикання при закритті.

Спеціальний матеріал ущільнення залишається пластичним в мороз і не примерзає до профілів покрівлі.

Прорізи фрамуг розташовані по ковзанах даху в шаховому порядку. Максимальний кут відкривання фрамуг становить 46 градусів. У всіх прольотах теплиці передбачається відкриття до 25% площі теплиці. Така площа вентиляційних отворів дозволяє забезпечити надходження необхідного обсягу зовнішнього повітря в теплицю.

Теплиця має дві поверхні, спрямованих в протилежні сторони, тому приводи фрамуг роблять роздільними для кожної поверхні. Для підтримки рівномірної температури великі відділення мають по два приводи для фрамуг кожної з поверхонь. Кожен з них управляється і контролюється окремо. Конструкція механізму приводу фрамуг забезпечує їх одночасний рух.

В якості приводів застосовуються мотор-редуктори, які через ланцюгові муфти обертають приводні вали, прокладені вздовж лотків теплиці. На кожній другій фермі вал з'єднується з рейковими редукторами, встановленими на верхньому профілі ферм. Ці редуктори перетворюють обертання приводного вала в прямолінійне. З обох сторін до рейкових редукторів кріпляться штовхаючі трубчасті рейки, встановлені на роликівих опорах. За допомогою тяг переміщення рейки відкриває або закриває фрамуги теплиці.

Управління фрамугами здійснюється системою управління теплицею в повністю автоматичному режимі.

Для точного регулювання мікроклімату дані про тип фрамуги і площі прорізів введені в програму системи електрофікованого управління.

Комп'ютер на підставі показань метеостанції для підтримки заданих параметрів мікроклімату розраховує необхідний повітрообмін окремо для кожної частини кожного відділення. З огляду на площу всього вентиляційного отвору, швидкість вітру, зовнішню температуру і опади, комп'ютер розраховує кут відкриття підвітряних і навітряних фрамуг. Він дає команду мотор-редукторам, які переміщують фрамуги в точно розраховане положення. Положення фрамуг контролюється спеціальними датниками-потенціометрами,

які встановлені всередині мотор-редукторів.

Всі елементи системи виготовлені з алюмінію, нержавіючої сталі і сталі з покриттям гарячим цинкуванням. Комплектуючі, які застосовуються в системах вентиляції, дозволяють гарантувати безперебійну і точну роботу системи вентиляції протягом багатьох років.



Рис. 3.23. Загальний вид мотор-редуктора в системі вентиляції в теплиці

Для реалізації системи вентиляції в теплиці обираємо наступні виконавчі механізми:

Мотор-редуктор ALK-75-533 (рис. 3.24).

Основні технічні характеристики:

- Вологозахищений, адаптований під критичні умови роботи (вологість, температура).
- Передача на вал приводу надходить не через жорстке з'єднання, що зберігає від осьового биття і зменшує навантаження на редуктор.
- Має регулювання діапазону підйому, плавні налаштування, через що зникає потреба в монтуванні кінцевих вимикачів.
- За рахунок правильно підібраного передатного числа - довжина підйому становить до 200 метрів.
- Напруга живлення 220В або 380В
- Потужність приводу 500 Вт
- Крутний момент при 380В становить - 800 Нм

- Швидкість від 20 до 30 обертів за хвилину.
- Клас вологозахисту – IP57



Рис. 3.24. Загальний вигляд мотор-редуктора ALK-75-533

Зубчаста рейка приводу фрамуг (рис. 3.25).

Зубчаста рейка вентиляції - пряма рейка, яка використовується для пристрою дахового, бокового та торцевого провітрювання.

- Такі рейкові приводи керуються як в ручну так і на пряму безпосередньо одним мотором-редуктором на кожен вентиляційний отвір.

- Зубчаста рейка являє собою напрямну з косими або зубами, що працює в парі з шестернею. Ці два елементи утворюють так звану зубчато-рейкову передачу, яка служить для перетворення крутного моменту шестерні в поступальний рух виконавчого механізму.



Рис. 3.25. Загальний вид рейкового приводу системи вентиляції в теплиці

3.5. Час квантування цифрової системи керування

Цифрова система керування (ЦСК) – система, в якій безперервний сигнал перетворюється в цифровий код і керування здійснюється з застосуванням алгоритмів цифрової обробки інформації.

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Задача вибору раціонального часу квантування T_k є однією з основних проблем реалізації ЦСК.

Згідно з теоремою Котельникова для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2w_c$, де w_c – частота зрізу вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує, що сигнал не містить в собі частот вище, ніж w_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу за інтервалом: $T_k = \pi w_c$.

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{K_B}{T_B s + 1} \frac{K_0}{T_0 s + 1} \frac{K_B K_0}{(T_B + T_0) s + 1} \quad (3.39)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{0.33}{96800s^3 + 16676s^2 + 580s + 1} \quad (3.40)$$

Виведено дану функцію в середовище MATLAB для дослідження:

```
Transfer function:
          0.33
-----
96800 s^3 + 16676 s^2 + 580 s + 1
```

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}} = \frac{W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)}{1 + W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)} = \frac{K_B K_0}{(T_B + T_0 s^2 + (T_B T_0) s + 1) + K_B K_0} \quad (3.41)$$

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам}}(j\omega) = \frac{K_B K_0}{(T_B T_0 (j\omega)^2 + (T_B T_0) (j\omega) + 1) + K_B K_0} \quad (3.42)$$

У результаті розв'язання рівняння :

$$A(\omega) = \frac{K_B K_0}{\sqrt{(-T_B T_0 \omega^2 + 1 + K_B K_0)^2 + (T_B T_0)^2 \omega^2}} = 0.01 \quad (3.43)$$

Амплітудно-частотна характеристика електрофікованої системи керування показана на рис. 3.26.

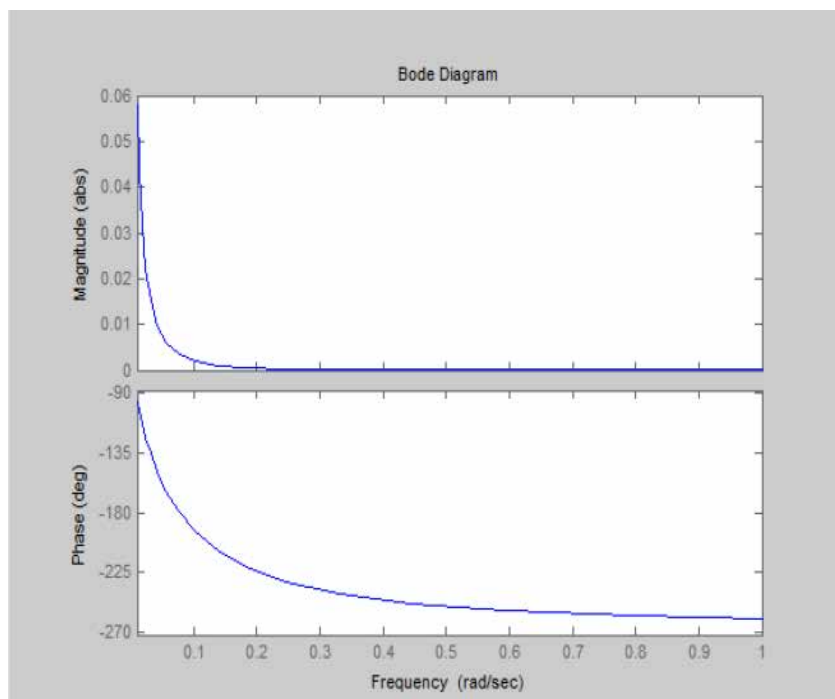


Рис. 3.26. Амплітудно-частотна характеристика електрофікованої системи керування

Отримаємо значення частоти:

$$\omega_c = 0.05$$

і значення часу квантування:

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 62.8.$$

3.6. Реалізація цифрового ІІІ-регулятора

Аналогічно з неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ІІІ закон регулювання.

Синтез ІІІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p , K_i .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається за формулою 3.44:

$$K_i = K_v \lim_{z \rightarrow 1} z - 1 W_{н.ч}(z) \quad (3.44)$$

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Співвідношення добротності за швидкістю від постійної часу об'єкта

T_0, c	K_v
~ 1	3...10
~ 10	0,3...1
~ 100	0,01...0,04
~ 1000	0,004...0,012

Згідно з таблицею $K_v = 0,01$, оскільки $T_0 = 550$ с. Для визначення передатної функції $W_{н.ч}(z)$ застосовуємо пакет програм MATLAB (рис. 3.27), використовуючи операції завдання передатної функції неперервної системи та

Z-перетворення неперервної передатної функції на дискретну $wz=c2d(w,T)$.
(рис. 3.6.2.).

де w – змінна, що отримала вираз неперервної передатної функції,
 T – крок квантування.

В середовищі Matlab введемо команду:

`wz=c2d(w,62.8)`

Після чого отримаємо результат:

```
Transfer function:|
0.02006 z^2 + 0.01335 z + 0.0001367
-----
z^3 - 0.9501 z^2 + 0.05174 z
- 2.002e-005

Sampling time: 62.8
```

Рис. 3.27. Визначення передатної функції $W_{н.ч.}(z)$

При синтезі ІІІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу SE .

Тоді:

$$K_i := \frac{0.01}{\left(\frac{0.002006 \cdot 1 + 0.01335 + 0.00013}{1^2 - 0.9501 \cdot 1 + 0.05174 + 0.00002} \right)} = 6.6$$

Після знаходження K_i параметр K_p визначаємо таким чином, щоб компенсувати полюс Z-перетворення неперервної частини системи.

Передатна функція ІІІ-регулятора має вигляд:

$$W_{III}(z) = \frac{K_i \cdot T}{2} \frac{z+1}{z-1} = \frac{2 \cdot K_p \cdot z - 2 \cdot K_p + K_i \cdot T \cdot z + K_i \cdot T}{2z-2} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T)z + (K_i \cdot T - 2 \cdot K_p)}{2(z-1)}$$

$$\frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T) \left[z + \frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{2 \cdot K_p + K_i \cdot T} \right]}{2(z-1)} W_{III}(z) = \frac{K_i \cdot T}{2} \frac{z+1}{z-1} = \frac{2 \cdot K_p \cdot z - 2 \cdot K_p + K_i \cdot T \cdot z + K_i \cdot T}{2z-2} =$$

$$\frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T)z + (K_i \cdot T - 2 \cdot K_p)}{2(z-1)} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T) \left[z + \frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{2 \cdot K_p + K_i \cdot T} \right]}{2(z-1)}$$

(3.45)

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий K_p , який би задовольняв рівняння:

Параметр знаходимо за допомогою програми MathCAD (рис. 3.8.3.).

Given

$$\frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T + 2 \cdot K_p} = 0.000197$$

$$\text{Find}(K_p) = 3.281$$

Рис. 3.28. Знаходження параметру K_p за допомогою програми MathCAD

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі Simulink (рис. 3.29).

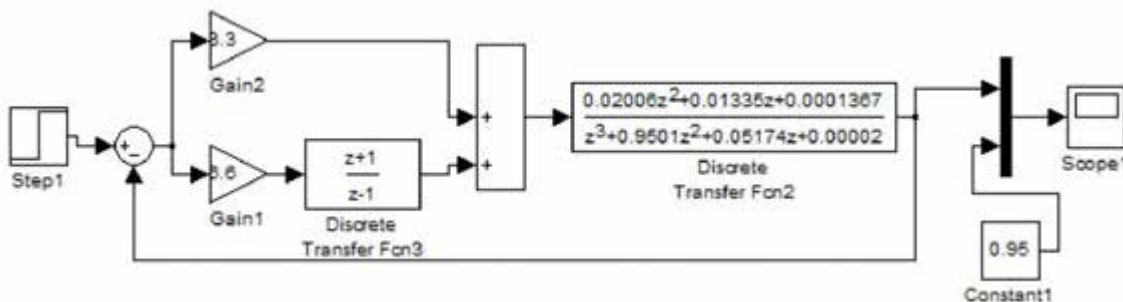


Рис. 3.29. Структурна модель цифрової системи

Та отримаємо перехідний процес системи з ПІ-регулятором (рис. 3.30).

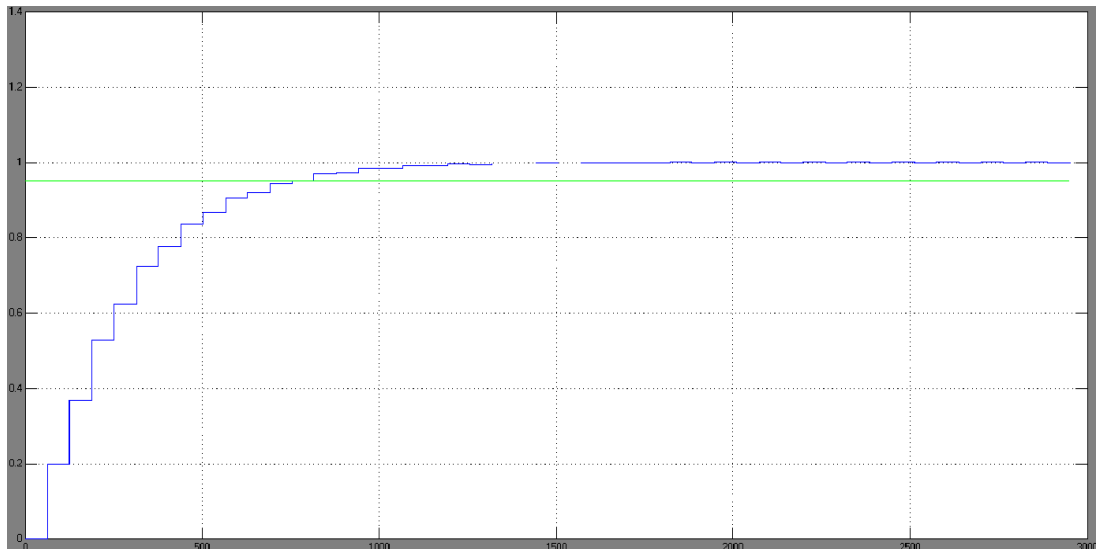


Рис. 3.30. Перехідний процес системи з ПІ-регулятором.

3.7. Дослідження цифрової системи електрофікованого керування на стійкість та якість

Використовуючи розімкнуту передатну функцію цифрової системи $W_{роз}(z)$, знайдемо $W_{зам}(z)$, розв'яжемо рівняння та знайдемо характеристичні корені.

$$W(p) := \frac{33}{9.68e6 \cdot p^3 + 1.6676e6 \cdot p^2 + 58000.0 \cdot p + 133.0} \cdot \frac{28.4p - 18.2}{6.6p - 6.6}$$

Отримаємо рівняння в z-перетворенні

$$W(z) := \frac{142.0 \cdot z - 91.0}{(z - 1.0) \cdot (9.68e6 \cdot z^3 + 1.6676e6 \cdot z^2 + 58000.0 \cdot z + 133.0)}$$

У результаті було отримано наступне характеристичне рівняння:

$$9.68e6 \cdot z^4 - 8.0124e6 \cdot z^3 - 1.6096e6 \cdot z^2 - 57867.0 \cdot z - 133.0 = 0$$

Використавши програмне середовище Mathcad знайдемо можливі корені рівняння:

$$z := (-0.00246535485787517003990.125345444637357851680.044461927777494251003.0)$$

Згідно теорії Джурі визначимо чи задовільняють знайдені корені показники стійкості:

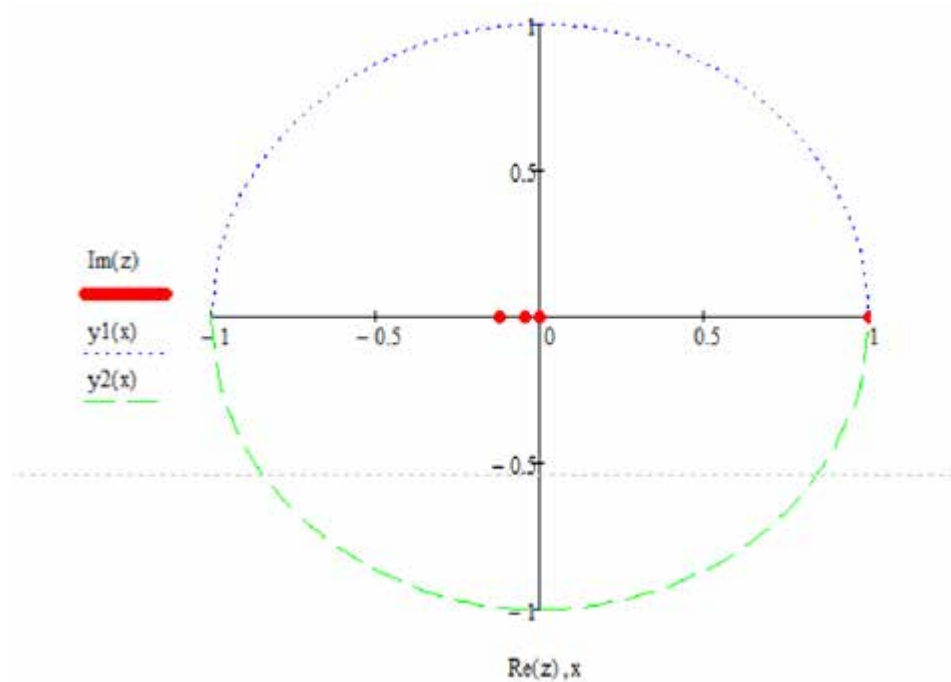


Рис. 3.31. Корені характеристичних рівняння на площині.

Згідно рис. 3.31. визначаємо:

- час регулювання $tp = 550c$;
- перерегулювання $\sigma = 0$;
- коливальність $n = 0$.

3.8. Вдосконалення керування SCADA-системи

SCADA – супервізорний контроль і збір даних, система керування і моніторингу, яка вміщує програмно-операторні засоби, що взаємодіють між собою через глобальні мережі.

Застосування SCADA-технологій дозволяє досягти високого рівня керування електрофікованою системою в рішенні завдань розробки систем управління, збору, обробки, передачі, зберігання і відображення інформації[11].

До SCADA - систем пред'являються наступні основні вимоги:

- 1) надійність системи (технологічна і функціональна);
- 2) безпека управління;
- 3) точність обробки і представлення даних;
- 4) простота розширення системи.

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах реалізується у вигляді мнемосхем. На мнемосхемах відображається основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші частини системи[26].

Побудова людино-машинного інтерфейсу здійснюється за допомогою графічних елементів. Є три типи графічних елементів:

- 1) Статичні елементи (графічне оформлення екрана).
- 2) Динамічні елементи (форми відображення).
- 3) Графічні об'єкти.

Побудуємо систему контролю і управління ТП з урахуванням наявних точок контролю, виконавчих механізмів і апаратних засобів електрофікованого управління за допомогою програмного середовища TRACE MODE 6.

Створимо систему моніторингу, що містить один вузол АРМ. При проектуванні використовуватимемо механізм автопобудови каналів TRACE MODE методом «від шаблонів», що дозволяє створювати канали у вузлі по аргументах шаблонів, де як шаблони виступатимуть компоненти екран та програма.

Комп'ютерно-інтегрована система електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період, реалізована з використанням програмного забезпечення TRACE MODE 6 (рис. 3.37).

На головному екрані SCADA системи відображається весь технологічний процес зі зазначеними показами датчиків (у відповідних одиницях), значення частоти струму (від перетворювача частоти), що живить електродвигуни насоса та вентилятора (в герцах) та статус електродвигунів (ввімкнене /вимкнене).

Додатковими кнопками керування можна задавати режим роботи (ручний /автоматичний), задавати налаштування ПІ регулятора, відобразити вікно з графіками температури (тренди), відобразити вікно аварійних станів (аварії), та можливість керувати всіма виконавчими механізмами.

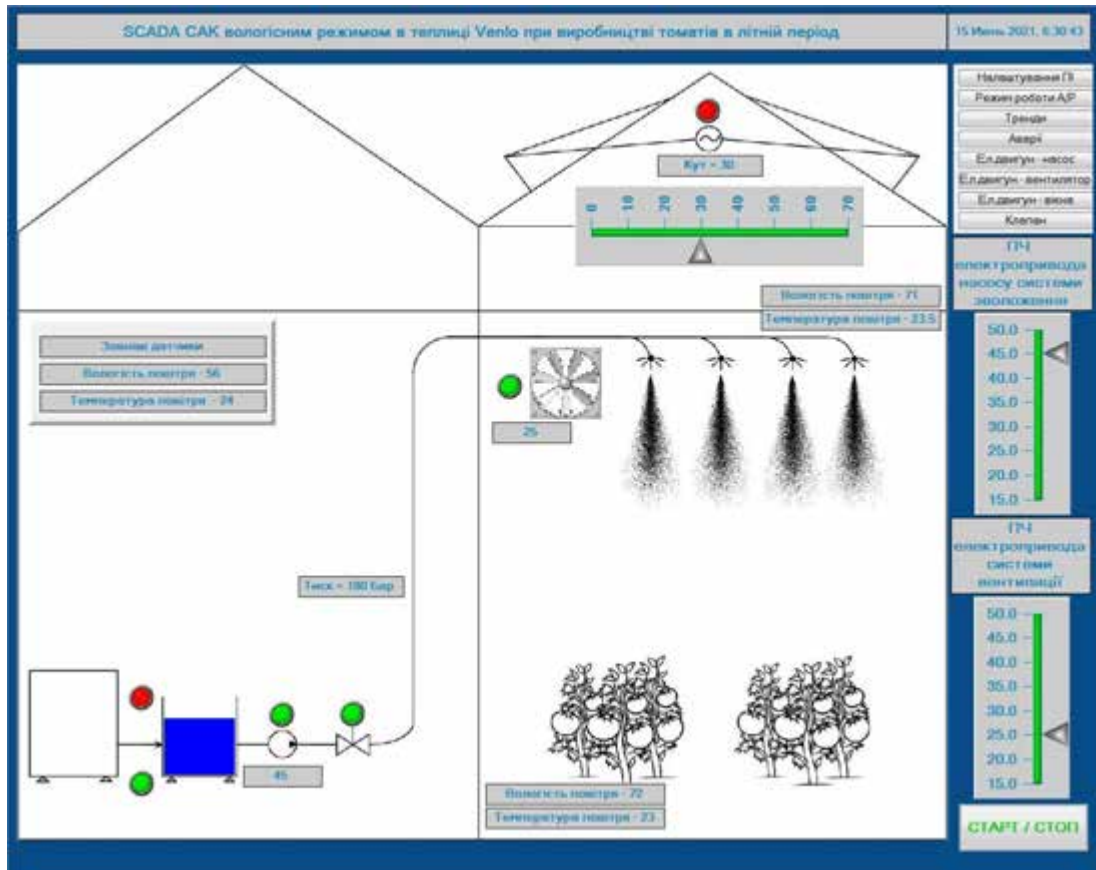


Рис. 3.37. Головний екран SCADA електрофікованої системи управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

Графічна частина проєкту для АРМ виконана, настала черга розробки математичного забезпечення проєкту – шаблонів програм (рис. 3.38).

Складемо програму для керування вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період (рис. 3.39):

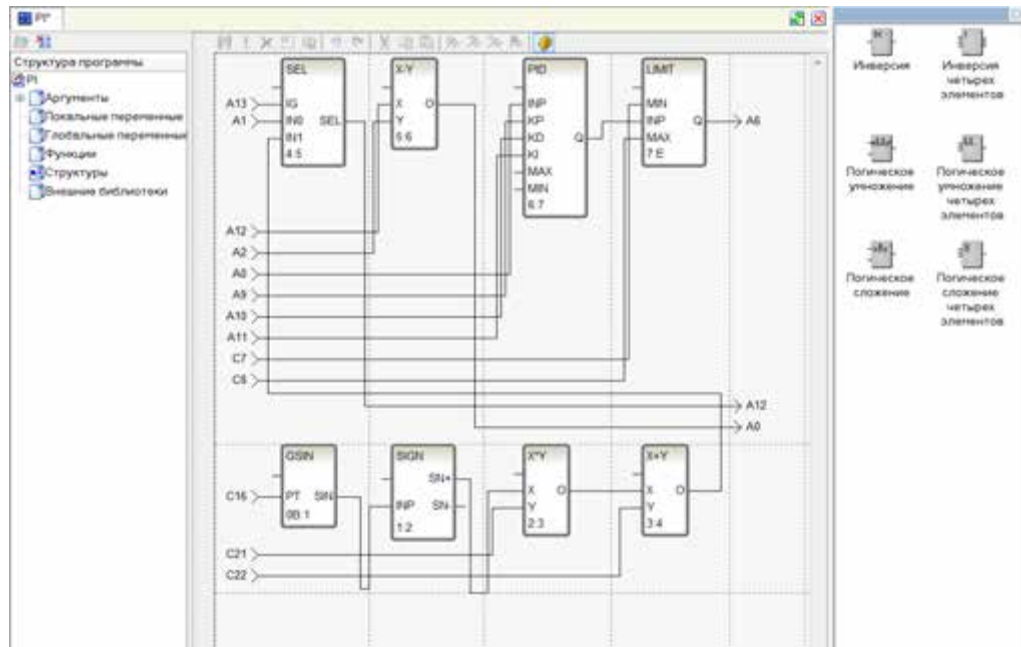


Рис. 3.38. Фрагмент програми на мові FBD реалізації ПІ регулятора в SCADA електрофікованій системі управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

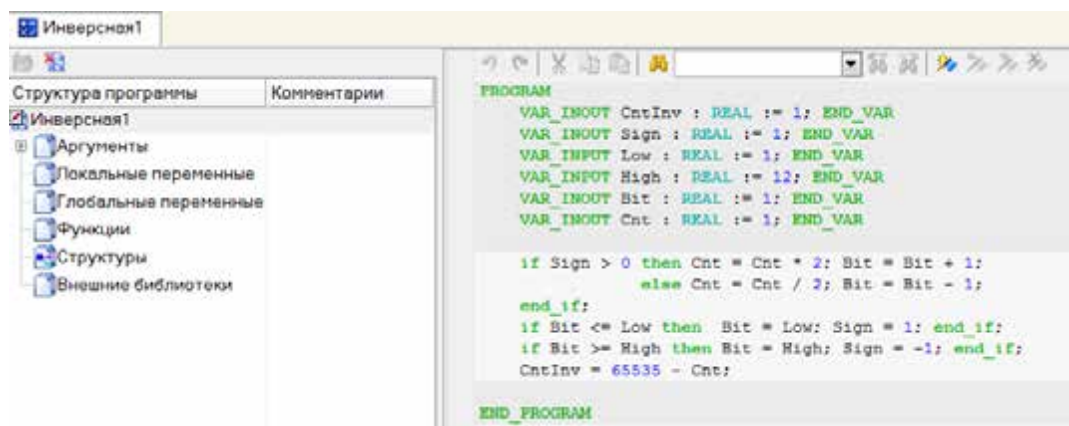


Рис. 3.39. Фрагмент програми на мові ST в SCADA електрофікованій системі управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

Для створення алгоритму роботи програми системи електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період створено блок-схему (рис. 3.40):

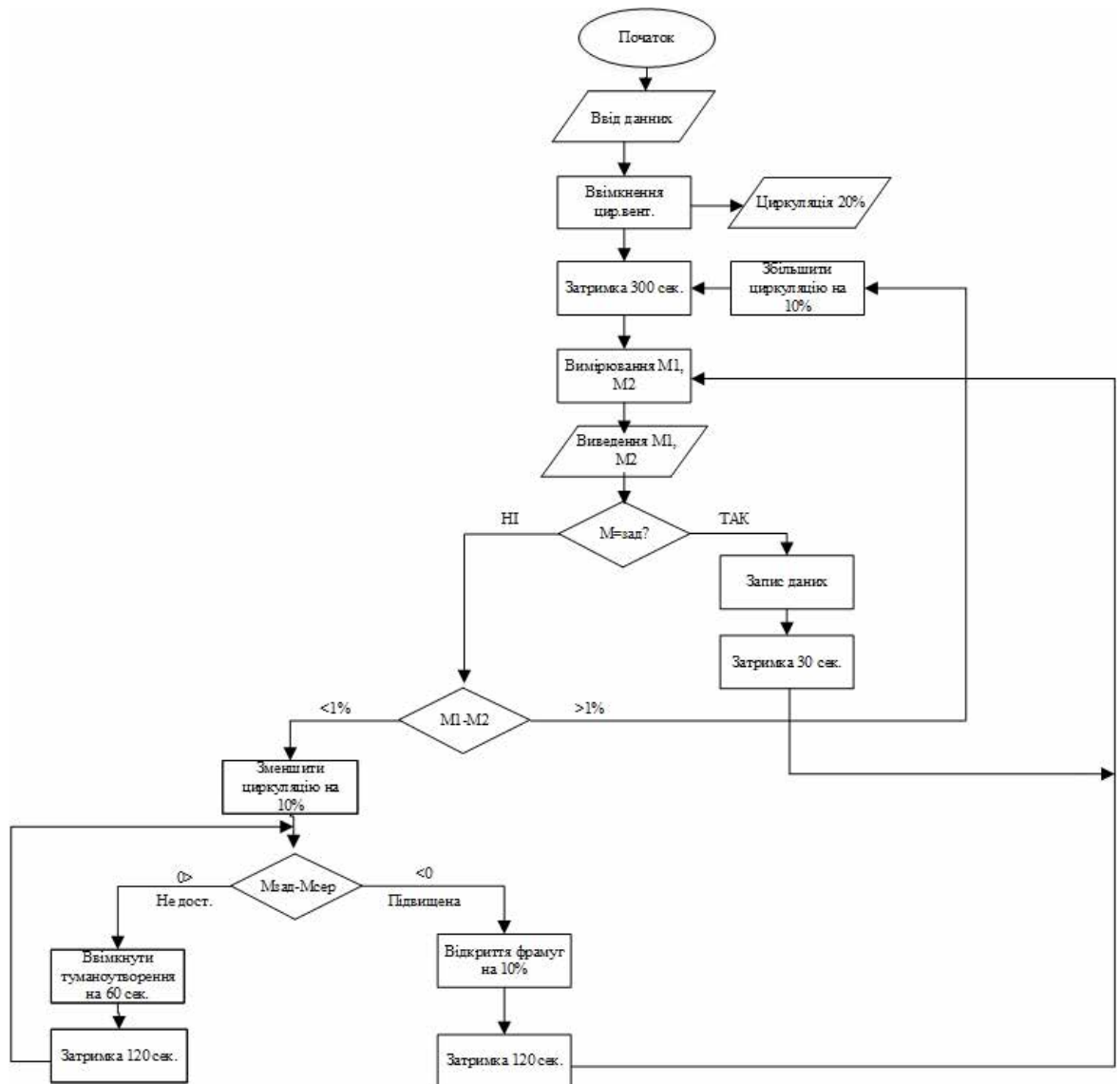


Рис. 3.40. Блок-схема алгоритму роботи програми системи електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

3.9. Висновки за розділом 3

Обрання компонентів системи туманоутворення: Для реалізації ефективної системи туманоутворення було обрано високоякісні компоненти, зокрема насос високого тиску HAWK NHD 1520 CR, що забезпечує високу продуктивність, надійність і довговічність завдяки керамічним поршням та

латунним головкам. Це дозволяє створювати якісну дрібнодисперсну туманність для підтримки оптимального мікроклімату в теплиці.

Вибір трубопроводів і форсунок: Для ефективного монтажу системи туманоутворення обрано багат шарові пластикові труби, які забезпечують високу міцність, стійкість до хімічних впливів і низькі втрати тиску. Використання форсунок з різними діаметрами отворів дозволяє оптимізувати розпилення води, що сприяє якісному формуванню туману.

Вентиляційна система: Для стабільного мікроклімату в теплиці важливим елементом є система вентиляції, що включає потужні вентилятори і фрамуги, які автоматично регулюють повітрообмін залежно від зовнішніх умов. Вибір вентиляторів з високою продуктивністю та надійністю забезпечує рівномірний розподіл повітря у теплиці.

Цифрове управління: Використання цифрових систем керування дозволяє точно контролювати параметри мікроклімату в теплиці. Завдяки теоремі Котельникова було вибрано оптимальний час квантування для безпомилкового відтворення сигналу в цифрових системах. Це дозволяє знизити помилки в регулюванні і покращити ефективність роботи всієї автоматизованої системи.

Реалізація ПІ-регулятора: Використання ПІ-регулятора дозволяє забезпечити високоточне регулювання параметрів системи, таких як температура та вологість. Завдяки MATLAB та Z-перетворенню була отримана дискретна передатна функція, що забезпечує стабільну і точну роботу системи керування.

В цілому, всі компоненти системи туманоутворення, вентиляції та управління обрані з урахуванням вимог до ефективності, надійності та простоти обслуговування, що дозволяє створити сучасну, автоматизовану систему для оптимізації умов в теплиці.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

4.1. Розрахунок надійності, підвищення надійності електротехнічного обладнання

Надійність електрофікованої системи керування - це властивість системи виконувати певні функції протягом певного періоду. Розрахунок надійності є одним з важливих етапів розробки системи, адже без її обрахунку не можна бути впевненим в працездатності схеми.

Головний фактор надійності - відмова. Відмова – це порушення нормальної роботи об'єкта і як наслідок не задовольняються вимоги які ставляться перед ним. Відмови поділяють на три види:

- раптові;
- технологічні;
- довговічність – можливість певного об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану;
- безвідмовність – можливість об'єкта зберігати свою працездатність впродовж якогось проміжку часу;
- граничний стан – стан, коли подальша експлуатація припиняється через неможливість ліквідування порушень вимог техніки безпеки;
- пошкодження – порушення справності виробу на який діяли зовнішні фактори.

Реальна інтенсивність відмови системи становить:

$$\Sigma \lambda = \frac{1}{\text{год}} \quad (4.1)$$

В табл. 4.1. наведена інтенсивність відмов.

Таблиця 4.4

Інтенсивність відмов елементів системи

Назва елемента	Кількість елементів, шт	Інтенсивність відмови - $\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}}$	Результуюча інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}}$
Автоматичний вимикач	2	0,161	0,322
Диференціальні автоматичні вимикачі	3	0,22	0,66
Магнітний пускач	4	0,25	1
Теплове реле	3	0,4	1,2
Механічні контакти	46	0,25	11,5
Трипозиційний перемикач	1	0,1	0,1
Реле контролю фаз	1	2,5	2,5
Блок живлення	1	6,93	6,93
Частотний перетворювач	2	2,9	5,8
Кнопковий вимикач	7	0,063	0,441
Лампа сигнальна	9	0,88	7,92

Загальна інтенсивність відмов - інтенсивності відмов елементів помножена на їх кількість.

Загальна інтенсивність відмов системи — це сума інтенсивностей відмов кожного елемента.

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів:

$$\lambda = 38,373 \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}} \quad (4.2)$$

Середній час безвідмовної роботи електрофікованої системи управління

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{38,373 \cdot 10^{-6}} = 26060 \text{ год.} \quad (4.3)$$

Приймаємо, що термін нормальної експлуатації становить $t=10\ 000$ год. Тоді знайдемо результуючу імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ за $10\ 000$ год.

$$P_{рез}(t) = e^{-k\Sigma \lambda \cdot 10^4} \quad (4.4)$$

$$P_{рез}(10000) = e^{-1 \cdot 38,373 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,88 \quad (4.5)$$

де k - коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо 1);

t - час експлуатації.

Враховуючи попередні розрахунки, можна зробити висновок, що протягом $10\ 000$ годин ймовірність відмови складає $0,88$.

Видно, що $P_3(t) = 0,95 < P_{пер}(t) = 0,88$. За всіх умов, коли результуюча надійність об'єкта буде менша від заданої, схема підлягає резервуванню. Для підвищення надійності використовують метод навантаженого резервування - паралельного з'єднання однотипних елементів.

$$P_3(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \quad (4.6)$$

де $P_1(t)$ – імовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується,

$P_2(t)$ – імовірність роботи схеми, що резервуванню не підлягає.

$$P_2(t) = e^{-1 \cdot (4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,161 + 7 \cdot 0,063 + 12 \cdot 0,25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 3,7 \quad (4.7)$$

$$P_1(t) = \frac{0,95}{3,7} = 0,256 \quad (4.8)$$

$$0,256 = 1 - (1 - e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})^m \quad (4.9)$$

$$m = \frac{\log(1-0,256)}{\log(1-e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})} \approx 2 \quad (4.10)$$

де $\lambda_1 = (3 \cdot 0,22 + 3 \cdot 0,4 + 0,1 + 2,5 + 6,93 + 2 \cdot 2,9 + 9 \cdot 0,88) = 25,11 \cdot 10^{-6}$, $\frac{1}{год}$ - сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини схеми, що підлягає резервуванню.

Отже, досить двох елементів, з'єднаних паралельно, щоб забезпечити задану надійність для всієї схеми.

4.2. Висновки за розділом 4

Розрахунок надійності системи: Проведений розрахунок надійності електротехнічної системи управління показав, що для забезпечення безвідмовної роботи необхідно враховувати інтенсивність відмов різних елементів.

Ймовірність безвідмовної роботи: За допомогою розрахунків визначено, що ймовірність безвідмовної роботи системи протягом 10,000 годин складає 0,88. Це свідчить про наявність певної ймовірності відмови протягом цього часу, що є значним для підтримки стабільності роботи системи.

Необхідність резервування: Згідно з отриманими результатами, коли ймовірність безвідмовної роботи менша за задану (0,95), система потребує резервування. Для підвищення надійності застосовано метод навантаженого резервування — паралельне з'єднання однотипних елементів. Це дозволяє збільшити загальну надійність системи.

Метод резервування: Розрахунок показав, що для досягнення заданої надійності достатньо двох елементів, з'єднаних паралельно, що підвищує ймовірність безвідмовної роботи до 0,95. Це резервування забезпечує надійність системи в умовах потенційних відмов окремих елементів.

Підвищення надійності: У результаті проведеного аналізу та розрахунків, система керування мікрокліматом потребує регулярного моніторингу та підтримки надійності через резервування ключових елементів для забезпечення її стабільної роботи протягом тривалого часу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи створено комп'ютерно-інтегровану систему електрофікованого керування вологісним режимом в теплиці типу Venlo при виробництві овочів в літній період із використанням комплексу технічних засобів ОВЕН. Проведено аналіз системи електрофікованого керування, розглянуто її технологічну та електротехнічну частину.

Вибрано технічні засоби електрофікованої системи керування:

Електродвигун АІР 112М4 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 5.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 11,7 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 85,7\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

Турбовент ВСХ 1100 з такими технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.75 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.3 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 75\%; \quad \cos\varphi = 0,83;$$

Мотор-редуктор АLK-75-533 з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ел.дв.}} = 0.5 \text{ кВт}; \quad n_{\text{н}} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \quad I_{\text{н}} = 2.1 \text{ А}; \quad n_{\text{н.д.в.}} = 63\%; \quad \cos\varphi = 0,61;$$

Розроблено такі схеми:

1. Принципова електрична схема електрофікованої системи керування вологісним режимом в теплиці типу Venlo при виробництві овочів в літній період.

2. Електрична схема з'єднань електрофікованої системи керування вологісним режимом типу Venlo при виробництві овочів в літній період.

3. Електрична схема підключень електрофікованої системи керування вологісним режимом типу Venlo при виробництві овочів в літній період.

Розраховано надійність системи та виконано резервування для забезпечення заданої надійності схеми. Враховуючи вищесказане, приймаємо, що система є стійкою, а тому можливе її використання на практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / О. В. Барало, П. Г. Самойленко, С. Є. Гранат, В. О. Ковальов. Київ: Аграрна освіта, 2010. 557 с.
2. П. Ф. Гоголюк, Т. М. Гречин. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. Друге видання, перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.
3. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. СПДБ. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.
4. Б. Л. Головінський, А. А. Руденський. Мікропроцесорна техніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Київ: НАУ, 2005. 50 с.
5. Б. Л. Головінський, Ю. В. Шуруб, В. П. Лисенко. Теорія автоматичного управління. Київ: ВЦ НУБіП України, 2012. 240 с.
6. Ідентифікація і моделювання технологічних процесів / В. П. Лисенко, Є. В. Чернишенко, В. М. Решетюк та ін. Київ: АграрМедіа Груп, 2016. 620 с.
7. Кашкар'юв А. О. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Комп'ютерно-інтегровані технології в електрифікації та автоматизації сільського господарства". Мелітополь: ТДАТУ, 2017. 66 с.
8. Ю. А. Климентовський, А. М. Гладкий. Технічні засоби автоматики. Київ: Видавництво «КВІЦ», 2003. 238 с.
9. М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. Основи комп'ютерно-інтервованого управління: практичні заняття. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. 82 с.
10. Кушков В. М. Людино-машинні інтерфейси Конспект лекцій для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання /. Київ: НУХТ, 2012. 100 с.
11. В. П. Лисенко, В. О. Мірошник, В. М. Штепа. Комп'ютерно-інтегровані технології. Основи MatLab. Навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2010. 80 с.

12. В. П. Лисенко, В. М. Решетюк, В. О. Мірошник. Методичні вказівки до розробки випускної бакалаврської роботи для студентів напрямку підготовки 6.050202 –«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ, 2014. 128 с.
13. В. П. Лисенко, Б. В. Кузьменко, В. М. Решетюк. Моделювання технологічних процесів. Київ: Вища школа, 2010. 93 с.
14. В. П. Лисенко, Б. В. Кузьменко, Б. Л. Головінський. Оптимальні системи автоматичного управління: Навчальне видання. Київ: НАУ, 2003. 96 с.
15. В. Й. Пастушенко, А. М. Стеценко. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №14-15 з дисципліни "Основи комп'ютерно-інтегрованого управління". Рівне: НУВГП, 2014. 51 с.
16. Цифрові системи керування / Б. Л.Головінський, Ю. В. Шуруб, А. О. Дудник, В. П. Лисенко. Київ: ВЦ НУБіП України, 2016. 108 с.
17. Що таке SCADA системи: веб-сайт.
URL: <https://myscada.com.ua/ua/blog/chto-takoe-scada> (дата звернення 15.09.24)
18. CAN-PACK SA: веб-сайт.
URL: http://www.canpack.eu/?page_id=252&lang=en_us (дата звернення 13.10.24)
19. Контрольно-вимірювальні пристрої та засоби автоматизації ОВЕН: веб сайт.
URL: <https://owen.ua/> (дата звернення 24.10.24)
20. Пашковський А.І. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Частина 1. Закритий ґрунт. Вінниця : Нова книга, 2008. 364 с.