

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:631.544:621.313

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка

проф., д.т.н. /Каплун В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

доцент., к.т.н. /Опришко О.О./
вчене звання, науковий ступінь підпис

” ” 2024 р.
число місяць рік

” ” 2024 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В
ТЕПЛИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ»**

Спеціальність

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма підготовки
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(назва)

Гарант освітньої програми

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

Болбот І.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

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

Заєць Н.А.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Владіміров Є.А.
(ПІБ)

КИЇВ – 2024

ЗМІСТ

ЗМІСТ	2
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO.....	7
1.1. Конструктивні особливості сучасної теплиці	7
1.2. Керування вологісним режимом в блочних теплицях	9
1.3. Аналіз процесів, що протікають в об’єкті автоматизації.....	12
1.4. Мета і задачі магістерської роботи	22
РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛИЦІ.....	24
2.1. Розробка та дослідження математичної моделі теплиці.....	24
2.2. Імітаційне моделювання вологісного режиму в теплиці з використанням MATLAB	28
2.3. Розробка функціональної схеми системи керування вологістю повітря в теплиці	33
2.4. Розробка та дослідження нечіткої логіки теплиці	36
РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ОБ’ЄКТОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	41
3.1. Вибір алгоритму керування	41
3.2. Вибір датчиків	41
3.3. Вибір виконавчих механізмів	45
3.4. Час квантування цифрової системи керування.....	56
3.5. Реалізація цифрового ПІ-регулятора.....	58
3.6. Дослідження цифрової системи керування на стійкість та якість	61
3.7. Вибір керуючого елемента.....	62
3.8. Вдосконалення керування SCADA-системи	75

РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO.....	79
4.1. Розроблення електричних схем керування.....	79
4.1.1. Розроблення електричної принципової схеми	79
4.1.2. Розроблення схеми з'єднань	80
4.1.3. Розроблення схеми підключень.....	81
4.2. Вибір електротехнічних пристроїв.....	82
4.2.1. Вибір електродвигунів.....	83
4.2.2. Вибір автоматичних вимикачів	84
4.2.3. Вибір диференціальних автоматичних вимикачів	86
4.2.4. Вибір електромагнітного пускача	88
4.2.5. Вибір теплових реле	90
4.2.6. Вибір трипозиційного перемикача.....	92
4.1.7. Вибір реле контролю фаз	92
4.2.8. Вибір блоку живлення	93
4.2.9. Вибір частотного перетворювача	94
4.3. Вибір проводів та кабелів.....	95
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ	98
5.1. Розрахунок надійності, підвищення надійності електротехнічного обладнання..	98
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	101
6.1 Економічне обґрунтування проекту	101
6.2. Перелік основних нормативних документів	104
6.3. Аналіз стану безпеки праці на підприємстві.....	108

6.4. Організаційні та технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів	109
6.5. Вибір індивідуальних засобів захисту	111
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	114

ВСТУП

Економіка України сильно залежить від паливно-енергетичних ресурсів, геополітичні аспекти їх забезпечення та мінливість ринкових цін значно впливають на конкурентоспроможність вітчизняних виробників овочевої продукції, визначаючи специфіку їхнього функціонування. Інтеграція національної економіки у світовий контекст призводить до зниження ефективності діяльності аграрних підприємств в Україні, особливо через стрімке зростання витрат на енергоносії. Ця проблема, а також широкий вплив споживання паливно-енергетичних ресурсів на різні суб'єкти господарювання, обумовлюють нагальну потребу забезпечити енергонезалежність шляхом підвищення енергоефективності та розробки відповідних заходів з енергозбереження.

Теплиці широко використовуються в сучасному світовому сільському господарстві, особливо в Нідерландах, де вони є лідерами у застосуванні цієї технології. Використання теплиць дозволяє подовжити вегетаційний період, контролювати вологість, вирощувати продукцію цілий рік та створювати сприятливі умови для різноманітних рослин. Теплиця типу Venlo - це алюмінієва конструкція зі скляними стінами та дахом, де враховуються специфічні навантаження регіону, а елементи розраховані на оптимальне співвідношення міцності та ваги для забезпечення регулювання внутрішнього клімату.

Метою Основними цілями магістерської роботи є зменшення витрат на паливо та енергоресурси, підвищення ефективності виробництва та забезпечення безпеки продукції. Для досягнення цих завдань планується розробити комп'ютеризовану систему контролю вологості в теплиці типу Venlo під час літнього вирощування овочів.

Об'єктом дослідження є процес керування вологістю повітря в теплиці, який відіграє ключову роль у виробництві та потребує високої якості електрообладнання.

Предметом дослідження є система керування вологістю повітря в теплиці та SCADA система. Це дозволить забезпечити високу точність і надійність функціонування системи.

Теоретична цінність отриманих результатів – обґрунтування вибору технологічного обладнання та розробка SCADA системи для управління вологісним режимом в теплиці типу Venlo.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБЛАДНАННЯ В ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO

1.1. Конструктивні особливості сучасної теплиці

Вирощування овочів у теплицях з оптимальними умовами для рослин стало звичною практикою. Серед усіх типів теплиць, голландські конструкції, особливо Venlo, виділяються завдяки численним перевагам та є найбільш раціональним вибором. Такі теплиці виготовляються з міцних матеріалів, таких як сталь, скло та алюміній, що дозволяє знизити витрати на будівельні матеріали.

Кожен елемент сталеві конструкції розробляється з урахуванням внутрішнього обладнання та місцевих кліматичних умов, як-от вітрове та снігове навантаження. При цьому всі компоненти виготовляються максимально легкими, проте відповідають необхідним конструктивним стандартам. Зовнішній вигляд теплиці типу Venlo.

представлено на рис. 1.1



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд теплиці типу Venlo

Каркас теплиці складається з різних елементів, серед яких: колони, сталеві ферми, розпірки, покриття, а також алюмінієві лотки та профілі. Всі ці компоненти покриті білою порошковою фарбою.

Колони визначають висоту теплиці, яка залежить від вирощуваних рослин та методів їх культивування. Сучасні теплиці, як правило, мають висоту від 6 до 7 метрів. Колони витримують навантаження від скляних стін, алюмінієвого даху, внутрішнього обладнання, а також вертикальні навантаження від вітру.

Сталеві ферми є основою конструкції теплиці Venlo, які складаються з верхніх та нижніх профілів, діагональних елементів і кінцевих пластин. Ці ферми використовуються для кріплення внутрішніх систем теплиці, таких як вентиляція, механізми зашторювання, опалення, а також для підтримки підвісних лотків для рослин. Довжина ферм визначає відстань між колонами, а стандартні ширини можуть становити 8,0 м, 9,6 м або 12,0 м.

Таким чином, теплиці типу Venlo є найбільш оптимальним варіантом для вирощування овочів та квітів завдяки їхній міцності, адаптивності та ефективності.

Біле порошкове покриття використовується для оцинкованого корпусу сталевих елементів теплиці, що запобігає їхньому окисленню. Це запобігає окисленню оцинкованого корпусу, надаючи конструкції сірого відтінку. Білий колір також дозволяє краще поглинати сонячне світло та покращує загальний естетичний вигляд теплиці.

Розпірки слугують для підтримки вертикального навантаження та передають горизонтальні зусилля від лотків на фундамент теплиці.

Використання *алюмінієвих профілів* у конструкції теплиці має ряд переваг. Вони дозволяють зменшити вагу каркаса, надійно кріпити скло, відводити дощову воду та підвищувати загальну міцність. Крім того, гумові прокладки між склом і алюмінієвими елементами захищають теплицю від проникнення води та вітру. Алюмінієві профілі виготовляються легкими, але міцними згідно з конструктивними нормами.

Профілі (шпроси), призначені для кріплення скла, дозволяють максимально пропускати світло. Для скління використовується одинарне прозоре скло товщиною 4,0 мм.

Бічні стіни теплиць покриваються одинарним склом, але можуть використовуватись й інші матеріали, такі як подвійне скло, полікарбонат або сендвіч-панелі.

Алюмінієвий лоток використовуються для кріплення скляних панелей покрівлі. Герметизація лотка дозволяє склу відводити дощову воду, не пропускаючи її всередину теплиці, що робить алюмінієву конструкцію покрівлі ефективною. Крім того, алюмінієвий лоток виконує важливу конструктивну роль, збираючи дощові опади і сніг, і забезпечуючи міцність. Саме він збирає конденсат всередині теплиці.

1.2. Керування вологісним режимом в блочних теплицях

Мікроклімат - це специфічні кліматичні умови в межах невеликої ділянки, що включають температуру, вологість повітря та освітленість, важливі для росту і розвитку рослин.

Оскільки теплиця призначена для вирощування овочів, врахуємо помідори (рис. 1.2) як основний овоч і визначимо найважливіші фактори для їх росту.

Помідор - це однорічна або багаторічна трав'яниста рослина родини Пасльонових. У зв'язку з обладнанням опалення, його вирощують у такі періоди:

- осінньо-зимовий;
- весняно-літній.



Рис. 1.2. Внутрішній вигляд теплиці з помідорами.

Враховуючи, що тема дипломної роботи передбачає керування вологісним режимом в теплиці під час вирощування томатів в літній період, розглянемо основні особливості цієї культури.

При вирощуванні томатів у теплиці влітку важливо своєчасно висаджувати розсаду, не старшу за 30 днів, оскільки пізня посадка знижує врожайність до 1 кг/м².

Під час висадки вносять лише необхідні мінеральні добрива. У несприятливу погоду знижують частоту обприскувань, приділяючи більше уваги вентиляції та профілактиці захворювань. Плоди збирають двічі на тиждень.

Оптимальна температура ґрунту - 17-18°C при вологості 60-70%. Температури повітря вище 32°C спричиняють стерильність пилку та опадання квітів. (таблицю 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 спостерігається надмірний ріст рослин, що може завдати не виправної шкоди урожаю. Це може відбуватися з наступних причин:

1. Надлишкова кількість нітратного азоту у ґрунті, оскільки помідори саджають в той самий ґрунт, де раніше росли огірки.
2. Зайва волога, що може спричинити надмірний розвиток потужної кореневої системи. Важливо контролювати ріст кореневої системи протягом перших етапів росту.

Для уникнення стресу рослин, томати часто висаджують у контейнери або горщики, одночасно зменшуючи полив і збільшуючи вміст солей в кореневій зоні.

Для отримання високих та стабільних врожаїв томатів, важливо підтримувати оптимальний режим температури та вологості.

Для зниження температури в теплиці застосовують вентиляцію, а взимку частково або повністю вимикають обігрів. Ефективним методом є також дрібнодисперсне обприскування верхньої частини рослин, яке охолоджує листя через випаровування, але може сприяти розвитку грибкових хвороб.

При переході з нічного на денний режим, важливо запобігати утворенню конденсату на рослинах. Влітку, щоб уникнути перегрівання, застосовують посилену вентиляцію та зволожувальні поливи. Ще ефективнішим є використання системи

випарного охолодження та зволоження. Слід уникати різких коливань температури та вологості, оскільки це може послабити рослини та спровокувати хвороби.

Контроль температури та вологості повітря є критичним для підтримання оптимального мікроклімату теплиці та отримання високих врожаїв томатів. Особливо важливо здійснювати ретельний моніторинг та оперативно реагувати на зміни, особливо влітку, коли температура постійно коливається.

1.3. Аналіз процесів, що протікають в об'єкті автоматизації

Поєднуючи системи обігріву, поливу, досвічування, зашторювання, вентиляції та подачі CO₂, можна створити систему клімат-контролю (рис. 1.3). Для ефективного управління цими системами використовується кліматичний комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням, яке забезпечує керування цими системами у двох режимах: автоматичному та напівавтоматичному.

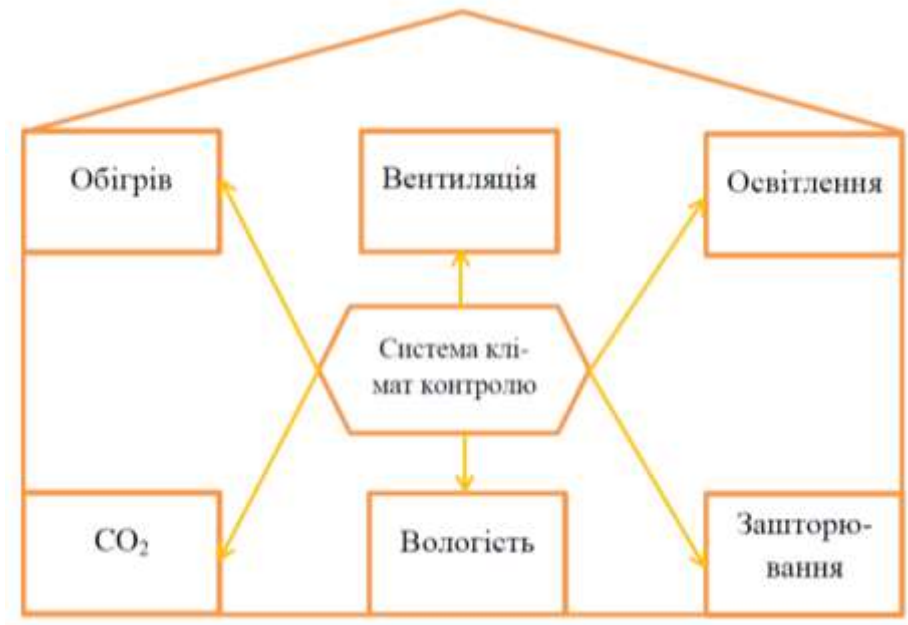


Рис. 1.3. Загальний вид системи мікроклімату

Зображена на рисунку система сприяє значній економії енергетичних ресурсів, оскільки на ріст і розвиток всіх частин рослин та швидкість проходження процесів

найбільше впливають різні аспекти сонячної активності, такі як кількість тепла, радіації та світла.

Для контролю параметрів у теплиці використовуються датчики, розташовані по її периметру, та зовнішня метеостанція. Вибір моделі системи клімат-контролю залежить від технології вирощування та кількості культур, що дозволяє керувати мікрокліматом окремих блоків або всього комплексу. Головними недоліками цих систем є висока вартість та довгий термін окупності.

Система обігріву теплиці

Система опалення – важливий елемент теплиці. Її вибір залежить від клімату, вартості палива, витрат на опалення, розміру та теплоізоляції теплиці, кваліфікації персоналу, можливості використання альтернативних джерел тепла та потреб рослин. Головне завдання опалення – підтримувати необхідну температуру та вологість, особливо взимку.

До ефективних методів обігріву теплиць можна віднести наступне:

- пічне опалення, включаючи варіанти з повітряним та водяним контуром;
- системи водяного опалення на основі твердопаливного, газового або електричного котла;
- використання газової пушки для обігріву;
- використання конвекторів або інфрачервоних обігрівачів;
- підігрів ґрунту за допомогою грючого кабелю або труб з водяним опаленням.

Водяне опалення – один з найпоширеніших та ефективних методів обігріву теплиць, особливо для високорослих культур, таких як томати, огірки та перець. Вода, як теплоносій, забезпечує стабільний режим роботи та не впливає на вологість повітря. Котли для водяного опалення можуть працювати на різних видах палива.

Тепличні водонагрівні та парові котли відрізняються великим об'ємом води (рисунок 1.4), що дозволяє ефективно впоратися із різкими змінами зовнішніх температур, а також компенсувати коливання температури всередині теплиці. У більшості випадків в теплицях застосовується система з розділеними контурами.

Кількість контурів визначається різноманіттям культур, що вирощуються в теплиці. Зазвичай проектується три контури обігріву - два надгрунтових та один загальний підпирний контур. Цей підхід дозволяє рівномірно розподілити теплове навантаження по всій площі теплиці.



Рис. 1.4. Загальний вид котлу опалення сучасної теплиці

Повітряне опалення теплиць – економічний варіант, який може використовуватись як самостійно (в регіонах з м'яким кліматом), так і в поєднанні з водяним (в холодних регіонах з температурами до -20°C і нижче). Система базується на повітрянагрівачах (газ, рідке або тверде паливо) та системах розподілу повітря (повітроводи, вентилятори).

Повітряний обігрів може бути реалізований двома способами:

- Нагрівання повітря у системах припливної вентиляції, при цьому повітря береться з навколишнього середовища.
- Нагрівання внутрішнього об'єму повітря за допомогою газових конвекторів, печей з вентиляторним обдувом.

При вирощуванні високих рослин система повітроводів (рукавів) забезпечує подачу теплого повітря спрямовано в ряди з рослинами. У вирощуванні низьких

культур циркуляція теплого повітря від теплогенераторів забезпечується системою рециркуляційних вентиляторів

Система підживлення рослин вуглекислим газом

Ріст рослин базується на процесі фотосинтезу. За допомогою листочків рослини, що знаходяться на світлі, вони поглиблюють вуглекислий газ (оскільки містять хлорофіл) і створюють органічні речовини. Приблизно 95% від загальної маси сухої речовини в рослинах формується завдяки цьому процесу, тоді як лише 5% від мінеральних добрив.

Коли світла стає більше, фотосинтез прискорюється. Якщо в приміщенні є достатня кількість вуглекислого газу, це призводить до швидшого росту та розвитку рослин ($\text{CO}_2 + \text{світло} + \text{вода} = \text{органічна речовина} + \text{кисень} + \text{вода}$). Тому важливо постійно вимірювати склад повітря по периметру теплиці за допомогою датчиків, які можуть бути пов'язані з кліматичним комп'ютером.

Система централізованого забезпечення теплиці вуглекислим газом розрахована на використання CO_2 , яке утворюється при згорянні палива (газу або інших джерел) у котлах системи опалення. Котел, пальник і вся система опалення спеціально спроектовані для використання в теплиці.

Система централізованого постачання теплиці вуглекислим газом призначена для використання CO_2 , яке утворюється під час спалювання продуктів горіння (наприклад, газу чи іншого палива) у роботі котлів системи обігріву. Весь комплекс, включаючи котел, пальник та інші елементи системи опалення, спеціально спроектований для використання у теплиці.

Спеціальна конструкція пальника зменшує викиди та дозволяє використовувати CO_2 для підживлення рослин. Газ, що утворюється при згорянні, відбирається з економайзера вентиляторам та подається в теплицю мережею труб та перфорованих трубок.

Використання теплогенераторів прямого згорання для надання CO₂ можливе лише за умови, що кількість виробленого CO₂ відповідає потребам рослин, а газ, що надходить, має помірну температуру, щоб не завдавати шкоди рослинам.

Полив рослин в теплиці.

Існує широкий спектр іригаційних систем, включаючи:

1. Обладнання для крапельного поливу.
2. Системи дощування.
3. Системи туманоутворення.
4. Метод поливу підтоплення.

Для ефективного поливу, незалежно від його типу, необхідне спеціально обладнане приміщення для підготовки води, приготування та зберігання розчинів добрив, а також для керування всією системою поливу та живлення рослин.

Для точкового поливу рослин використовується система крапельного зрошення (рис. 1.5), що складається з пластикових труб, шлангів та крапельниць. Існують різновиди таких систем, які забезпечують оптимальний полив та надання поживних розчинів кожній рослині індивідуально.



Рис. 1.5. Загальний вигляд системи крапельного поливу

Для вирощування невисоких культур, таких як розсада, зелень та декоративні рослини, використовується система дощування (рис. 1.6). У цій системі вода подається

на зрошувану ділянку у вигляді дощу за допомогою спеціального дощувального апарату, який викидає струмінь води у повітря, розпилюючи її на краплі.

Система дощування в теплиці складається зі стаціонарного трубопроводу, рухомого трубопроводу та дощувального апарату, який пересувається під стелею по тросах.



Рис. 1.6. Загальний вид системи поливу дощуванням

Для вологолюбних культур в теплицях використовують систему туманоутворення. Вода під високим тиском (кілька десятків атмосфер) розпилюється через спринклери, створюючи туман. Система складається з спринклерів, труб (пластикових або сталевих) та насосної установки, що забезпечує необхідний тиск.

Системи охолодження та зволоження рослин в теплицях ("штучний туман", аерозольне зрошення) рекомендується використовувати тільки вранці. Це забезпечить рослини вологою на день і дозволить їм висохнути до вечора, запобігаючи розвитку хвороб.



Рис. 1.7. Загальний вид системи штучний туман

Поверхневий полив в закритому ґрунті можна здійснити за допомогою системи підтоплення (рис. 1.8). Ця система може мати форму заливної підлоги або заливних столів. Її принцип роботи полягає у тимчасовому затопленні субстрату з кореневою системою рослин, а потім відведенні надлишкової води. Процес заливання та відливання води керується насосами, які перекачують поживний розчин з загального резервуару до піддону (або підлоги), де зростає рослина. Після цього розчин повертається назад до загального резервуару за допомогою гравітації.



Рис. 1.8. Загальний вид полив підтопленням

Вентиляція в теплиці

Для забезпечення необхідних умов температури та вологості в теплиці використовуються система вентиляційних фрамуг і рециркуляційних вентиляторів (рис. 1.9). Природне провітрювання здійснюється за допомогою фрамуг, розташованих на даху, а також на бокових та фронтонах стінках теплиці. Кут нахилу та площа вентиляційних отворів регулюються залежно від температури повітря, швидкості вітру та кількості опадів. Керування відкриванням та закриванням забезпечується автоматично за допомогою системи клімат-контролю або вручну за допомогою ручного приводу.

Вентиляцію теплиці слід регулювати залежно від часу доби та зовнішньої температури: при температурі вище 15°C — повністю відкрити; після 17:00 — посилити, закривши фрамуги з вітряного боку; з 19:00 — закривати фрамуги з обох боків, підтримуючи температуру до 26°C ; із заходом сонця — повністю закрити.

Для штучного переміщення повітря в теплиці, з метою вирівнювання температури по всій площі теплиці та активації фізіологічних процесів в рослинах, а також ліквідації зон з підвищеною вологістю, коли природна вентиляція неможлива, використовують рециркуляційні вентилятори (рис. 1.10).



Рис. 1.9. Загальний вид вентиляційних фрамуг



Рис. 1.10. Загальний вид тепличної вентиляції

Система освітлення

Взимку, при недостатньому природному освітленні, в теплицях використовується додаткове освітлення, що складається з платформи, рефлекторів, ламп, кабелів та електричних щитів керування. Тип і потужність ламп залежать від потреб рослин. Збільшення світлового дня сприяє швидкому росту якісної розсади.

Система електродосвічування забезпечує необхідний рівень освітленості для розсади та овочів, особливо в осінньо-зимовий період, враховуючи сонячну радіацію та час доби. Автоматичне керування мікрокліматом регулює освітлення залежно від інтенсивності світлодня, оптимізуючи витрати електроенергії.

У теплицях освітлення відіграє одну з найважливіших ролей у формуванні мікроклімату та впливає на врожайність рослин. Оскільки ріст рослин залежить від фотосинтезу, для якого світло є основним джерелом енергії, то чим краще освітлення, тим швидше ростуть і розвиваються рослини.



Рис. 1.11. Загальний вид системи електро-досвічування рослин

У літній період, особливо на півдні, для захисту рослин від надмірного сонця та перегріву в теплицях рекомендується застосовувати затінення.

Забілювання даху та стін теплиці спеціальними препаратами – ефективний спосіб затінення. Вони забезпечують рослинам оптимальний баланс світла і тепла, підходять

для різних матеріалів (скло, плівка, полікарбонат), стійкі до опадів, легко змиваються та безпечні для довкілля.

Системи зашторювання зі спеціальною тканиною дозволяють регулювати освітлення в теплиці, а взимку ще й зберігають тепло, забезпечуючи економію до 30%.

Зашторювання може бути горизонтальним, вертикальним або комбінованим.



Рис. 1.12. Загальний вид системи зашторювання

1.4. Мета і задачі магістерської роботи

Мета цього кваліфікаційної магістерської роботи полягає в підвищенні продуктивності виробництва овочевої продукції в промислових теплицях шляхом удосконалення управління вологісним режимом в цьому просторі. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

Проаналізувати складові технологічного процесу формування мікроклімату в сучасних промислових теплицях.

Розробити математичну модель вологісного стану повітряного середовища для визначення його динамічних властивостей.

Створити функціональну та структурну схеми системи регулювання вологісного режиму повітряного середовища в теплиці. Обґрунтувати вибір комплексу сучасних засобів електрифікації для впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи, базованої на комплексі технічних засобів ОВЕН. Розрахувати показники ефективності цієї системи.

Вибрати необхідне електричне обладнання та розрахувати показники його надійності.

Розробити електричну принципову схему системи керування, враховуючи необхідне програмне забезпечення.

Ця робота дозволить оптимізувати виробництво овочів у тепличних господарствах в умовах сучасної енергетичної кризи та забезпечити ефективне використання ресурсів та природно-кліматичних умов.

РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛИЦІ

2.1. Розробка та дослідження математичної моделі теплиці

У господарстві, де працює тепличний комплекс, спостерігається активний обмін вологою. Кількість вологи значно впливає на такі фактори, як температура та інтенсивність фотосинтезу, а також інші обставини. Зображаю схему, що ілюструє потоки вологи в цьому процесі:

На рис. 2.1. зображена схема вологи в статичному режимі.

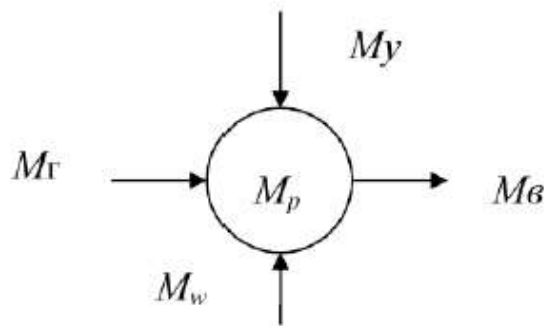


Рис. 2.1. Схема потоків вологи в теплиці з вентиляцією

де M_p – вологість в теплиці;

M_y, M_b – вологість, уведена і виведена з вентиляційним повітрям;

M_r – вологість від випаровування з ґрунту;

M_w – вологість від розпилювання води.

Ефективність зволоження повітря через розпилення води визначається рівнем розподілу рідинної фази та різницею у парціальних тисках. Кількісна оцінка може бути проведена за допомогою інтенсивності випаровування краплин, яка розраховується за формулою Максвела:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4*\pi*r_k(\tau)*D(\theta)*m_w*[P_H(\theta)-P(d)]}{R*T}, \quad (2.1)$$

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 Максвелла також записують у вигляді:

$$-\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = 4 * \pi * r_k * D * \frac{P_v}{P_w} (d_n - d_c) * 10^3, \quad (2.2)$$

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 несталоного режиму), отримаємо рівняння у вигляді:

$$m_v \frac{di_2}{d\tau} = G_w * i_w * G_v (i_2 - i_1), \quad (2.3)$$

$$m_w C_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = G_v (d_2 - d_1) r + G_w (\theta_w1 - \theta_w2) C_w + G_v C_v (t_1 - t_2), \quad (2.4)$$

$$i_w = \frac{i_2 + i_1}{(d_2 - d_1) * 10^{-3}}, \quad (2.5)$$

де i_w – ентальпія води, кДж/кг;

$$i_w = c_w \theta_w = 4.19 \theta_w, \quad (2.6)$$

Враховуючи що $i_w = a1$, сумісним розв'язком для сталого режиму отримано рівняння:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v a} (4.19 + \theta_w - b * 10^{-3}) + t_1, \quad (2.7)$$

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 розпилювач.

$$m_v \frac{dM_p}{d\tau} = G_w * d_w - G_v (M_p - d_1), \quad (2.8)$$

Використовуючи наближений запис для ентальпії вологого повітря

$$i_v = c_p t_v + r_0 d_v r_0 = 2500, \quad (2.9)$$

розв'язком (2.8) отримано диференціальне рівняння, що описує динаміку змінення вологості повітря в теплиці:

$$\frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w * 10^3 + G_v d_1, \quad (2.10)$$

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

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v} (t_g - t_p) - \frac{k_1 * F_t (t_v - t_p)}{C_v V_v \rho_v}, \quad (2.11)$$

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_v V_v \rho_v}, \quad (2.12)$$

$$\frac{m_v}{G_v} * \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w * 10^3 + G_v d_1, \quad (2.13)$$

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

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{a_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{a_{tp}}} = 14.765, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{град}}. \quad (2.14)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{a_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{a_{cz}}} = 4.284, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{град}}. \quad (2.15)$$

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

$$L = \frac{80}{\frac{\pi * 0.040^2}{4}} = 63661.9, \text{ м}. \quad (2.16)$$

а її поверхня теплообміну:

$$F_t = 63661.9 * \pi * 0.044 = 8799.9, \text{ м}^2. \quad (2.17)$$

Поверхню заклої теплиці порахуємо, умовно вважаючи форму теплиці прямокутною:

$$F_c = 18000 * 8000 * 2 * 3 = 66000, \text{ м}^2. \quad (2.18)$$

а об'єм повітря в теплиці буде дорівнювати:

$$V_v = 18000 * 3 = 54000, \text{ м.} \quad (2.19)$$

Час запізнення розраховуємо по формулі:

$$\tau_c = \frac{80}{4 * \frac{270}{3600}} = 266.667, \text{ с.} \quad (2.20)$$

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

$$a1 = k_1 F = 14.765 * 8799.9 = 129930.5, \quad (2.21)$$

$$a2 = k_2 F = 4.284 * 66000 = 282942, \quad (2.22)$$

$$b1 = C_v V_v p_v = 100 * 14.74 * 80 = 1.18 * 10^5, \quad (2.23)$$

$$b2 = C_v V_v p_v = 100 * 14.74 * 80 = 1.18 * 10^5, \quad (2.24)$$

Для рівняння вологості розв'язки мають вигляд:

$$t_2(\tau) = B - (B - t_{20}) e^{\frac{\tau}{T_v}}, \quad (2.25)$$

$$d_2(\tau) = A_1 - (A_1 - d_{20}) e^{\frac{\tau}{T_v}}, \quad (2.26)$$

$$\varphi_2 = \frac{10^5 * dz}{622(232.7 * t_2 - 2394)}, \quad (2.27)$$

де

$$T_v = \frac{m_v}{G_v}, \quad (2.28)$$

$$B = \frac{G_w}{G_v G_p} (4.28 * \theta_w - r_0) + t_1, \quad (2.29)$$

$$A = \frac{G_w}{G_v} 10^3 + d_1, \quad (2.30)$$

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

Отже, приведемо математичну модель до нормалізованого вигляду:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dt_v}{d\tau} + t_v = k_1 t_g + k_2 t_p \\ T_2 \frac{dt_p}{d\tau} + t_p = k_3 t_v - k_4 t_z \\ T_3 \frac{dM_p}{d\tau} + M_v = k_5 G_w + k_6 G_v - k_7 t_z \end{cases}, \quad (2.31)$$

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

$$T_1 \frac{C_v V_v p_v}{k_1 F_1}; T_2 \frac{C_v V_v p_v}{k_2 F_2}; T_3 \frac{m_v}{G_v}; k_2 = \frac{2}{V_v}; k_2 = \frac{k_1 F_1}{C_v V_v p_v}, \quad (2.32)$$

$$k_3 = \frac{k_1 F_1}{C_p V_p p_p}; k_4 = \frac{k_2 F_2}{C_z V_z p_z}; k_5 = d_w; k_6 = d_1; k_5 = d \frac{G_v}{F_c}. \quad (2.33)$$

2.2. Імітаційне моделювання вологісного режиму в теплиці з використанням MATLAB

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

Система моделювання Simulink створюється в середовищі **MATLAB** і працює з використанням функцій цього пакету. Ця система призначена для роботи з моделями, які можна представити у вигляді блок-схем. Simulink включає в себе набір інструментів для побудови, моделювання і аналізу динамічних систем.

Використовуючи блоки **Constant**, введемо значення коефіцієнтів a_1, a_2, b_1, b_2, b_3 , продуктивності насосу G_p , об'єму повітря в теплиці V_v , температури гарячої води t_g , вологовиділення всіх рослин W_t , продуктивності системи вентиляції VV і густини повітря ρ_p . Оскільки температура і вологість зовнішнього повітря є збуренням моделі і можуть бути використані при моделюванні керування, введемо їх за допомогою блоку **Step**. Розрахуємо час запізнення t_z і введемо його на каналі подачі води насосом за допомогою блоку **Transport Delay**.

Після цього, використовуючи математичні блоки **Product** і **Sum**, виконаємо операції між змінними правих частин рівнянь. Значення вологості повітря ϕ_p в приміщенні взято після блоку **Integrator**. Результат обчислення правої частини рівняння надсилається на блок для розв'язання диференційного рівняння - **Integrator**.

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

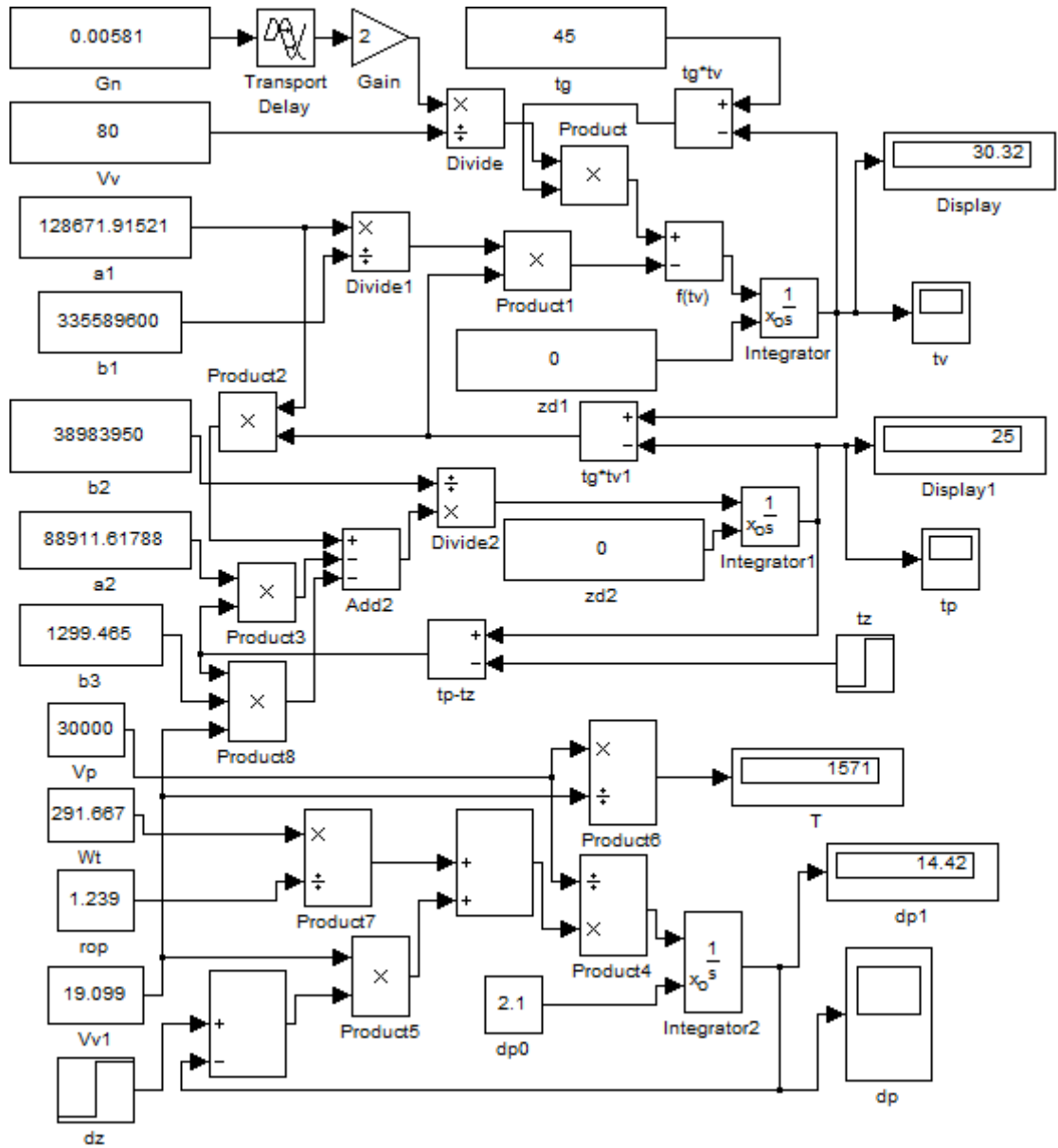


Рис. 2.2. Схема моделі обміну вологості в блочних теплицях

У блоках додавання і віднімання правильно встановимо операції додавання і віднімання, а в блоках множення і ділення - відповідні операції множення і ділення. У блоку **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, використовуючи значення вологовмісту зовнішнього повітря.

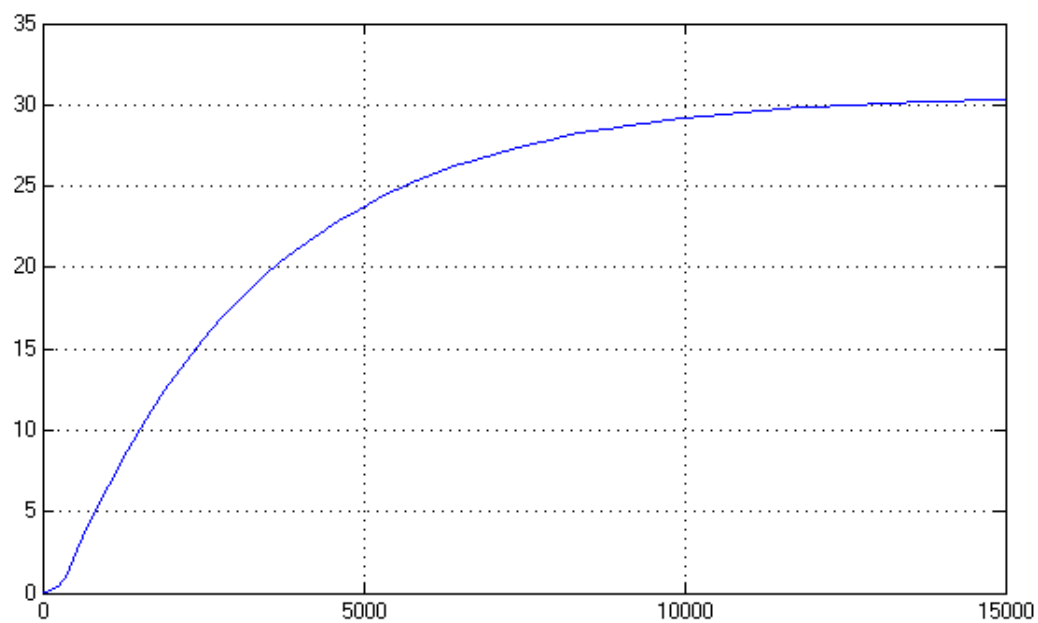


Рис. 2.3. Розгінна крива зміни температури води в опалювальній системі

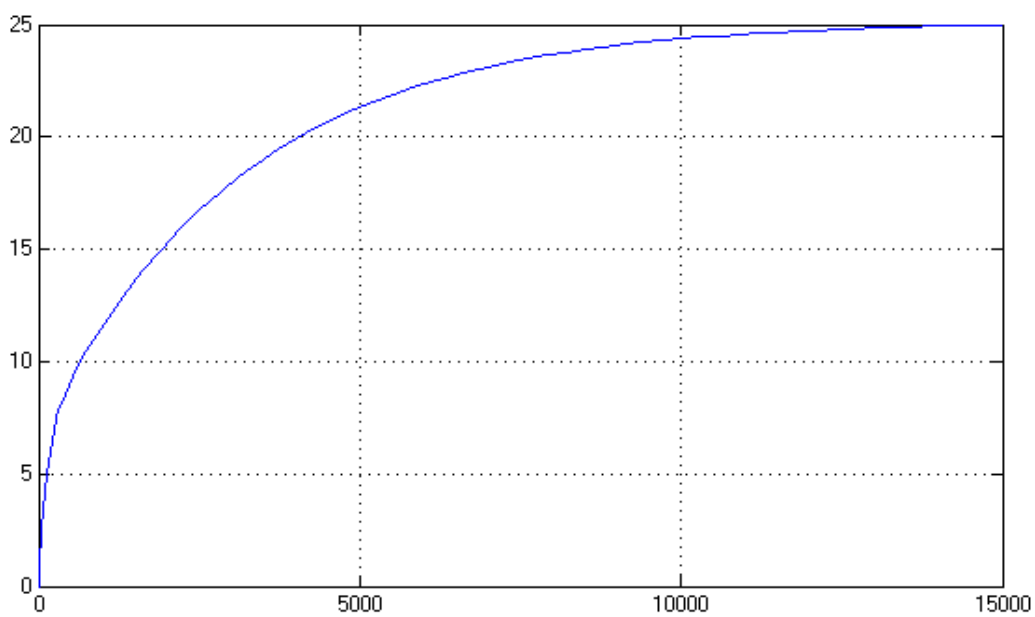


Рис. 2.4. Розгінна крива зміни температури повітря в приміщенні блочних теплиць

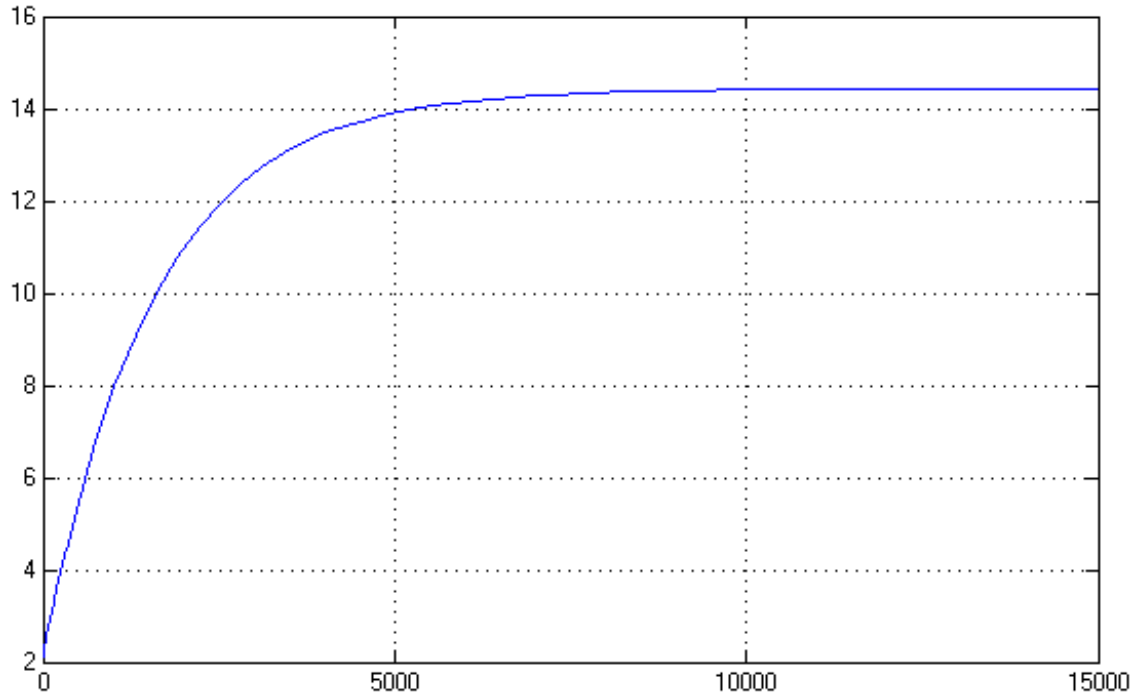


Рис. 2.5. Розгінна крива зміни вологовмісту в приміщенні

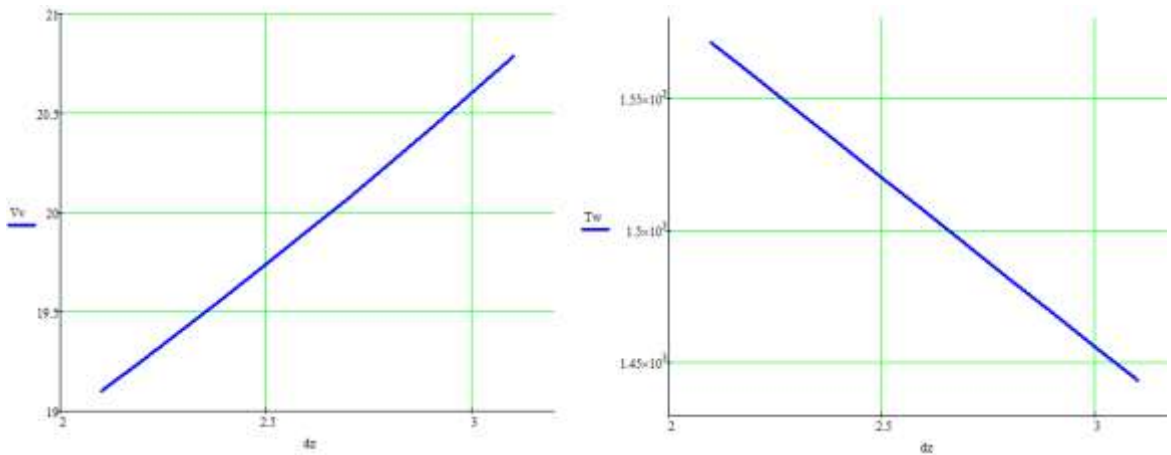


Рис. 2.6. Залежності зміни витрат вентиляційного повітря V_v , m^3/s і постійної часу по каналу регулювання T_w , від вологовмісту повітря

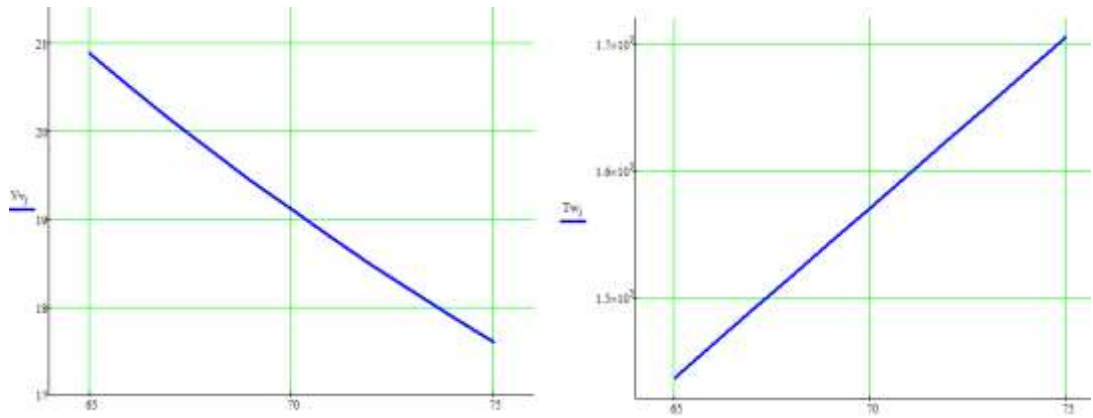


Рис. 2.7. Залежності зміни витрат вентиляційного повітря V_v , м³/с, і постійної часу по каналу регулювання T_w , від вологості повітря теплиці

2.3. Розробка функціональної схеми системи керування вологістю повітря в теплиці

На рис. 2.8 представлена функціональна схема електрифікованої системи керування вологістю в теплиці при вирощуванні томатів.

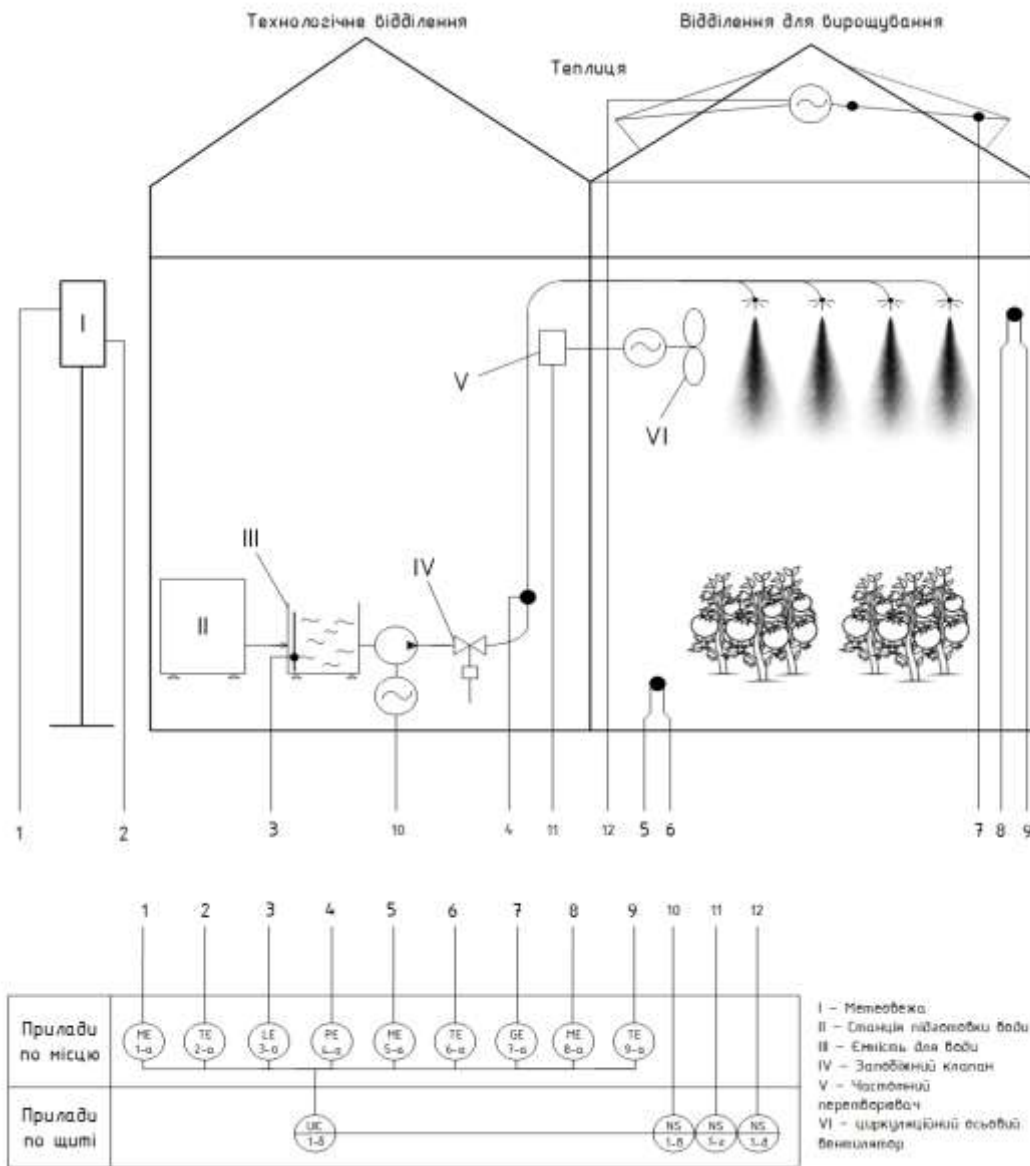


Рис. 2.8. Функціональна схема системи керування вологістю в теплиці при вирощуванні томатів.

На рис. 2.9 представлена функціонально-технологічна схема автоматизованого управління технологічними процесами в теплиці з умовним зображенням щита керування.

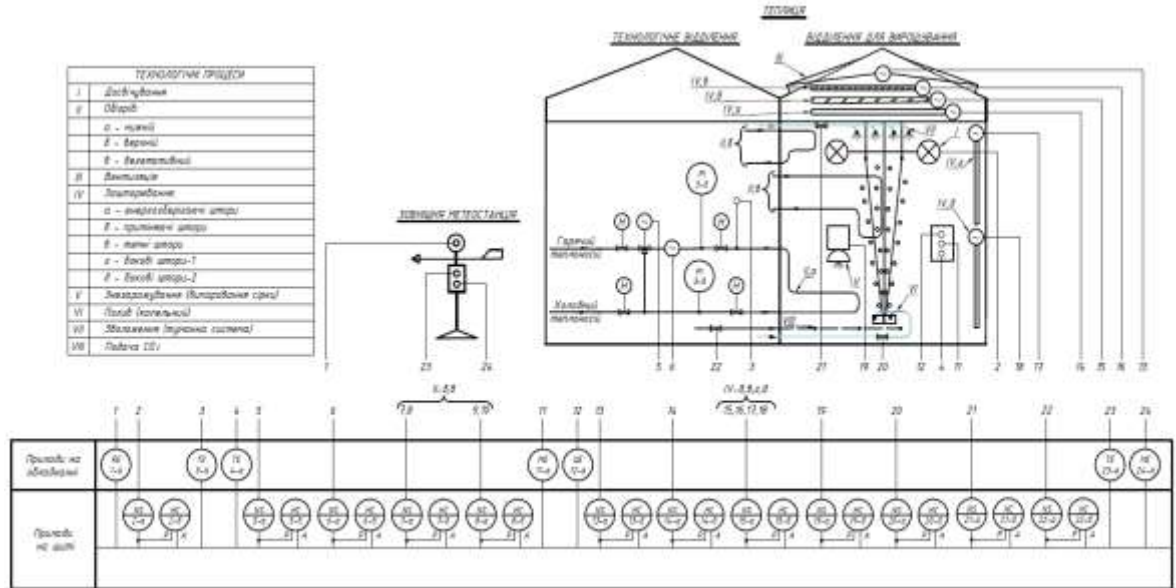


Рис. 2.9. Функціонально-технологічна схема управління технологічними процесами в теплиці з умовним зображенням щита керування

На рис. 2.10. показана функціонально-структурна схема системи управління по каналу регулювання вологості в теплиці.

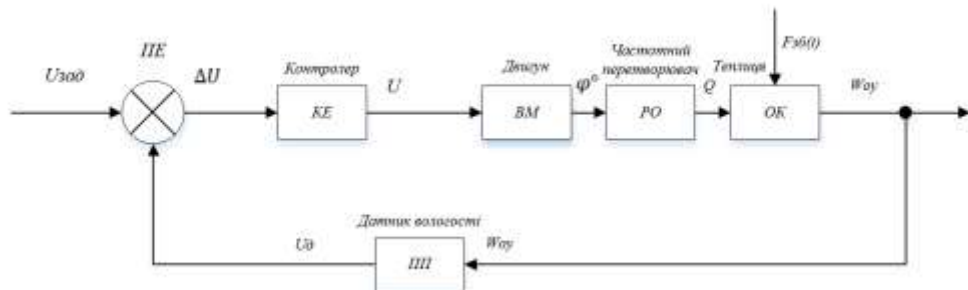


Рис. 2.10. Функціонально-структурна схема системи управління по каналу регулювання вологості в теплиці

На функціональній схемі системи управління зображені основні елементи:

КЕ - керуючий елемент (регулятор);

ВМ - виконавчий механізм (двигун);

РО - 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.

2.4. Розробка та дослідження нечіткої логіки теплиці

Система керування функціонує таким чином: програмований логічний контролер (ПЛК) вимірює технологічні параметри та надсилає дані про виміри на промисловий комп'ютер. Отримавши дані, комп'ютер зіставляє їх із заданою моделлю, визначає оптимальні робочі параметри системи та формує керуючий сигнал. Цей сигнал передається до системи мікроклімату, яка безпосередньо впливає на значення технологічних параметрів.

Стратегічне керування технологічними процесами реалізовано на верхньому рівні системи. Контролер виступає як комп'ютерно-інтегрований посередник, зчитуючи дані з сенсорів та передаючи керуючі команди виконавчим механізмам..

З допомогою пакету MATLAB зробимо синтез нечіткого регулятора з характеристиками для збалансування параметрів мікроклімату (вологісного та залежного від нього температурного режиму).

У блоці Fuzzy Logic Controller в пакеті Matlab робимо налаштування параметрів нечіткого управління. Приклад налаштування параметрів показано на рис. 4.11.

У налаштуванні регулятора вибрано три входи (input1, input2, input3) та відгук контуру керування (output1).

При цьому:

Input1 – продуктивність повітрообміну (вентиляції) через вентиляційні фрамуги, що впливає на рівень відносної вологості в теплиці, при продуктивності 80 м³/с;

Input2 – продуктивність вентиляції, при продуктивності 100 м³/с;

Input3 – продуктивність вентиляції, при продуктивності 120 м³/с;

Output1 – відносна вологість повітря об'єкта керування, %.

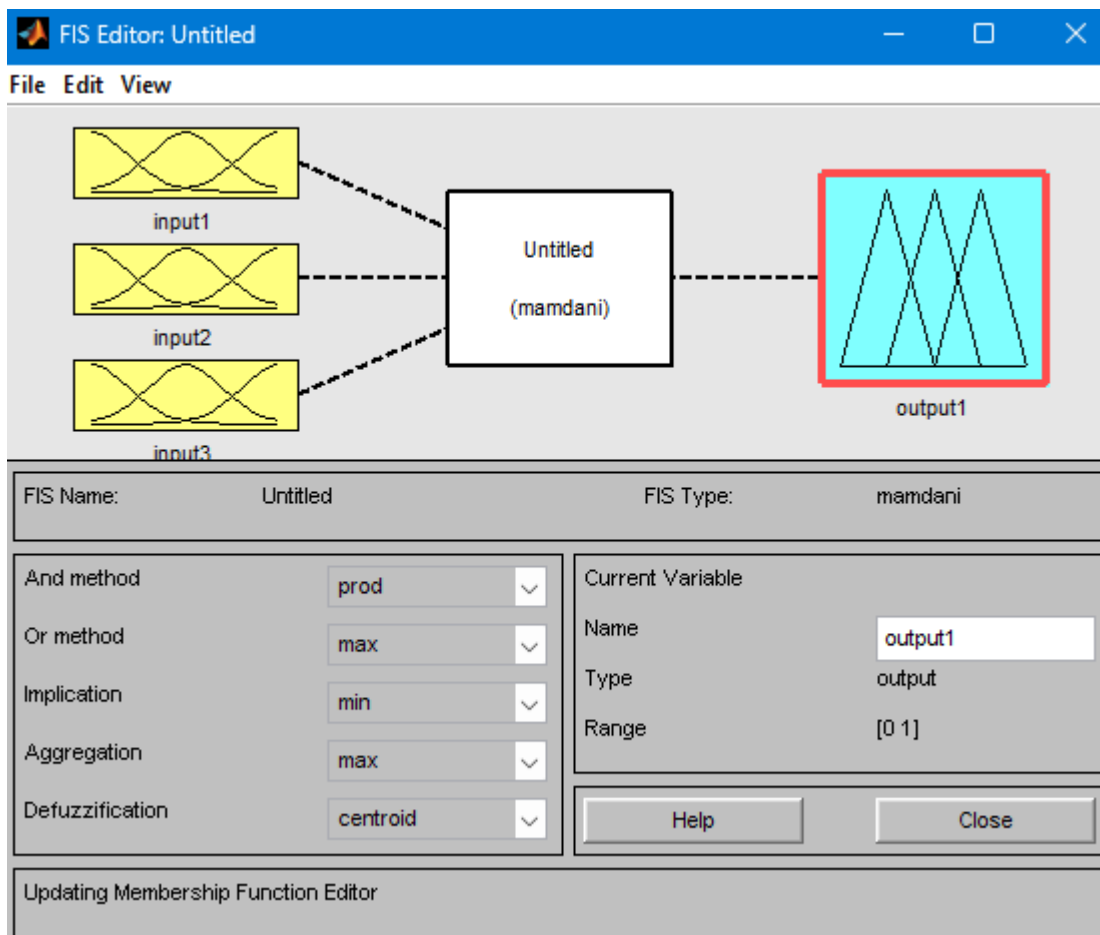


Рис. 2.11. Налаштування параметрів нечіткого управління

Правила функціонування регулятора нечіткої логіки побудовано на залежностях, виведених з математичної моделі об'єкта керування. Зокрема, використано криві розгону об'єкта для каналів регулювання вологості та температури в залежності від продуктивності системи вентиляції, що керує параметрами мікроклімату. Приклад правил функціонування регулятора показано на рис. 4.12.

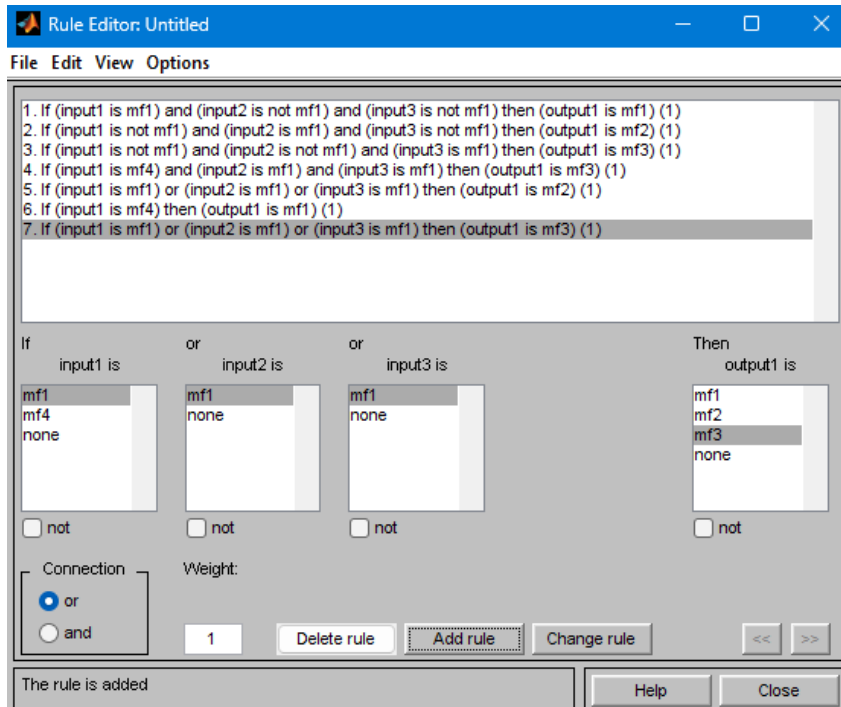


Рис. 2.12. Правила налаштування регулятора

Приклад налаштування одного з входів моделі нечіткої логіки наведено на рис.

2.13.

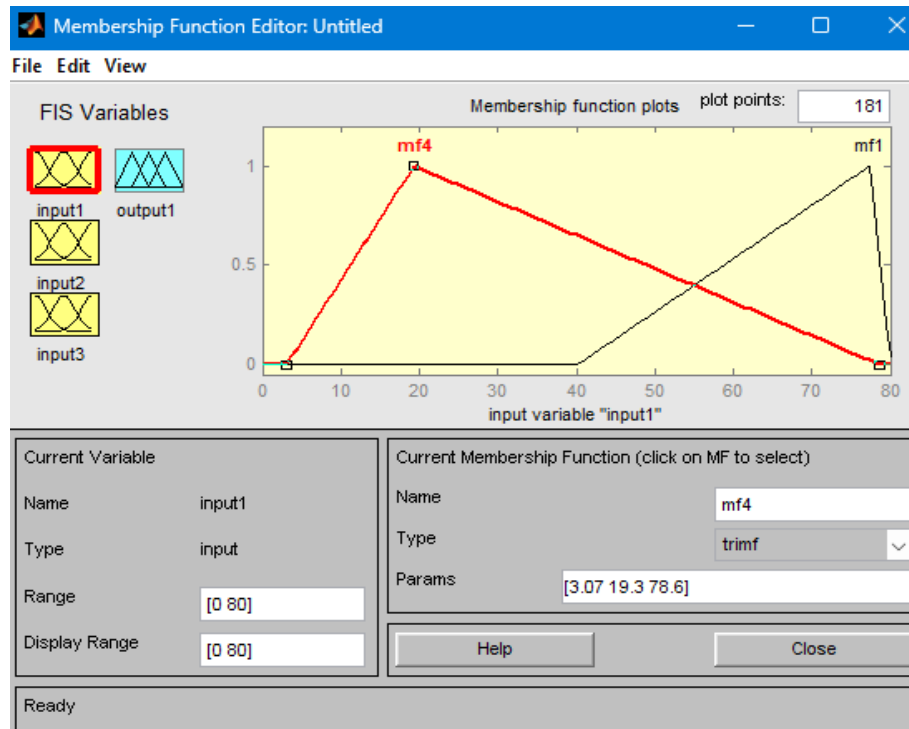


Рис. 2.13. Налаштування входніх впливів нечіткої моделі

Було пропрацьовано налаштування всіх визначених впливів на вихід моделі.

Графічне відображення (візуалізацію) налаштування правил нечіткої логіки наведено на рис. 2.14.

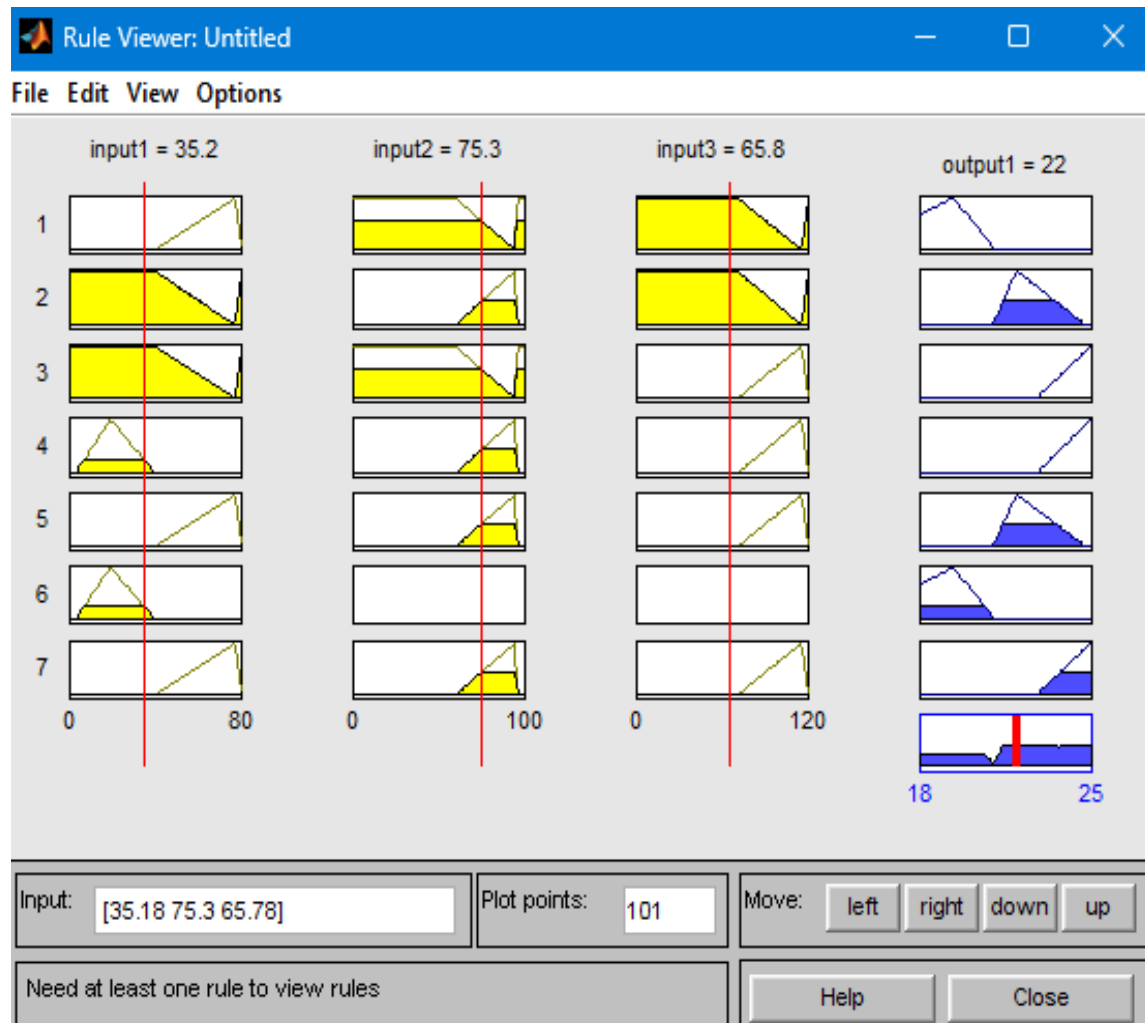


Рис. 2.14. Графічне відображення правил налаштування регулятора

При цьому впливи на вихідний параметр моделі можуть бути різними та змінюватися. На рис. 2.15 та 2.16 показано поверхню відгуку нечіткого регулятора.

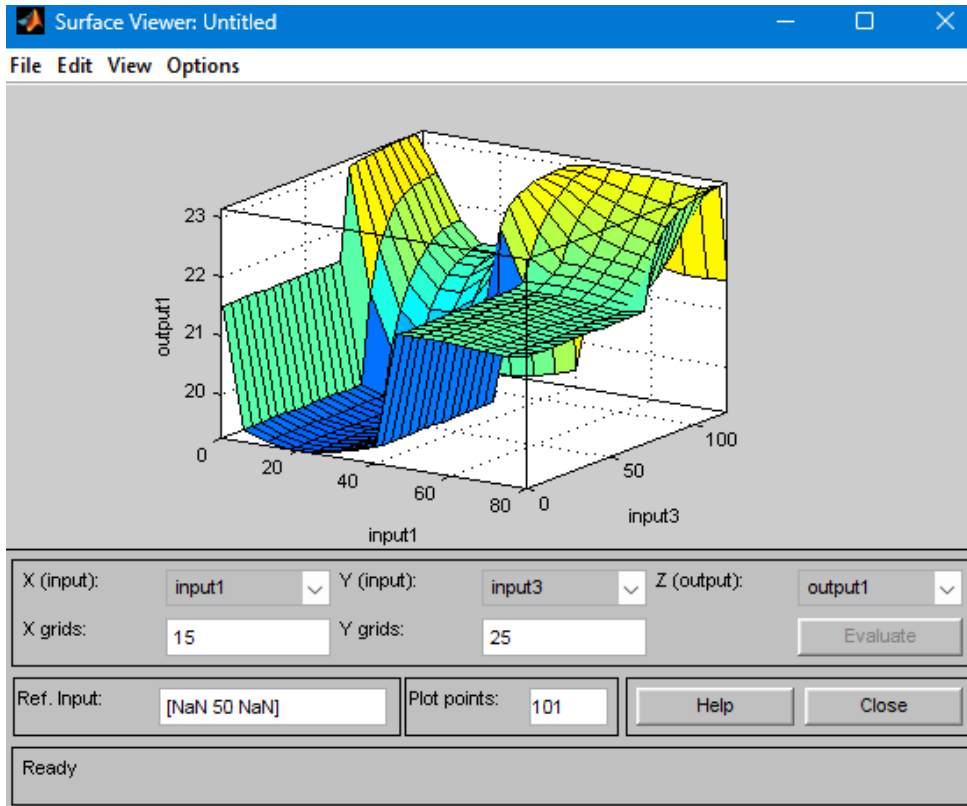


Рис. 2.15. Поверхня відгуку регулятора (залежність output1 від впливу input1 та input3)

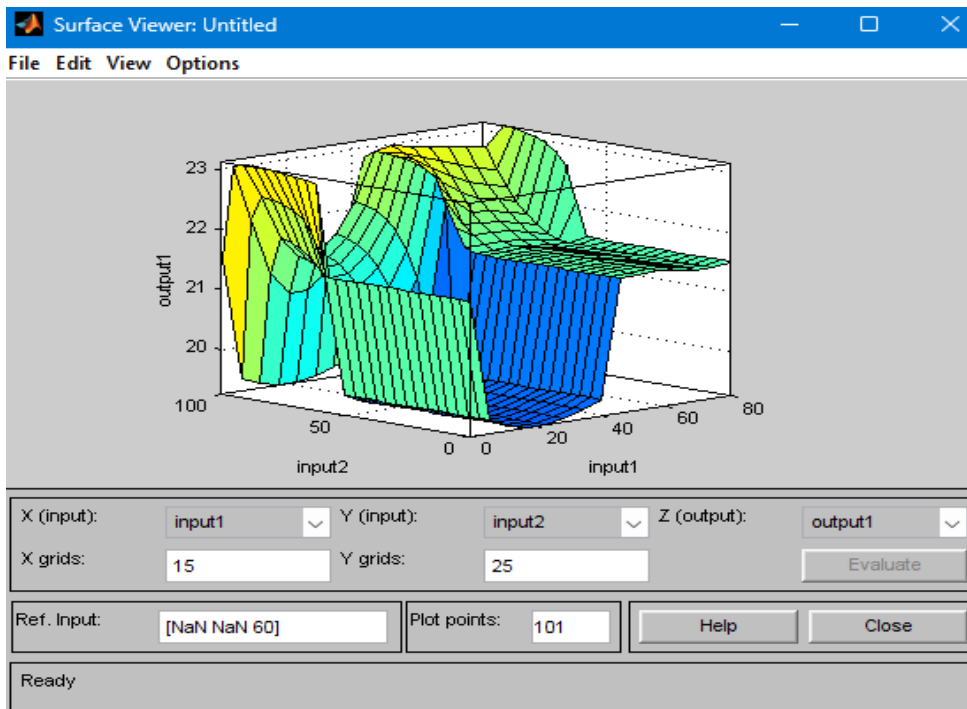


Рис. 2.16. Поверхня відгуку регулятора (залежність output1 від впливу input1 та input2)

РОЗДІЛ 3

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1. Вибір алгоритму керування

Алгоритм управління розробляється з урахуванням динамічних характеристик об'єкта, а також враховується показники якості, необхідні для відповіді технологічним вимогам.

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.

3.2. Вибір датників

Для моніторингу вологості та температури повітря в теплиці використовується датчик вологості та температури "Овен ПВТ100" (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд датника вологості повітря Овен ПВТ100

У таблиці 3.1 наведені технічні характеристики сприймаючого елемента даного датчика.

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 датника має вигляд:

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

де K_{CE} – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента.

Обраний датник тиску Овен ПД100-115, моделі 115, є перетворювачем тиску з вимірювальною мембраною виготовленою з нержавіючої сталі та «польовим корпусом» з кабельним вводом, придатним для гнучкого кабелю діаметром 6 – 8 мм. Ця модель відзначається підвищеною стійкістю до експлуатації в умовах важких навантажень. (табл. 3.2).



Рис. 3.2. Загальний вигляд датника тиску Овен ПД100-115

Основні технічні характеристики датчика тиску Овен ПД100-115

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

Для моніторингу рівня води у ємності, що використовується для зберігання рідини, використовується підвісний сигналізатор рівня Овен ПСУ-1 (рис. 3.3). Цей пристрій призначений для автоматичного управління процесом наповнення або спорожнення резервуарів із рідиною, включаючи ті, що можуть містити тверді включення.

Датники доступні з неопреновим кабелем завдовжки 5, 10 і 20 метрів.



Рис. 3.3. Загальний вигляд Овен ПСУ-1 підвісного сигналізатора рівня

Принцип дії

Поплавковий вимикач має міцний гнучкий кабель та вбудований герметично закритий мікроперемикач. При зануренні датника у рідину, його корпус відхиляється,

спричиняючи активацію мікроперемикача. Останній вмикає або вимикає електричну ланцюгу, в результаті чого запускається або зупиняється виконавчий механізм (наприклад, насос, вентиль і т. д.).

На малюнку (рис. 3.4) наведено схематичне зображення роботи ПСУ для управління пристроями при досягненні мінімального (1) і максимального (2) рівнів спрацьовування.

Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1:

Поплавковий вимикач використовується для контролю рівня різних рідин, включаючи хімічно агресивні середовища або харчові продукти. Використання ПСУ-1 як сигналізатора рівня для вигрібних ям, стічних вод або каналізаційної системи дозволяє зручно організувати схему управління насосом.

Сигналізатори рівня ПСУ-1 працюють при температурах від 0 до +70 °С в агресивних хімічних середовищах. Корпус датника виготовлений із поліпропілену, а кабель – із неопрену.

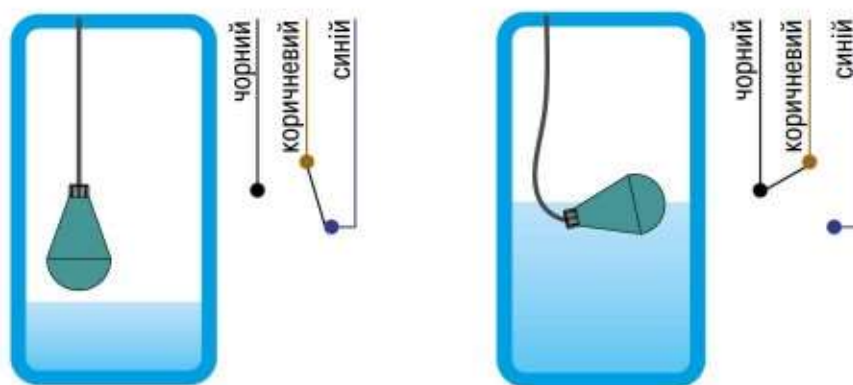


Рис. 3.4. Застосування сигналізатора рівня ОВЕН ПСУ-1

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

Модель Celesco SP3 є компактним перетворювачем лінійних переміщень з діапазоном від 0 до 1270 мм, що надає аналоговий вихідний сигнал (рис. 3.5). Він

особливо підходить для використання в обмежених просторах і призначений для великої кількості циклів вимірювань.

Технічні характеристики:

- Вихідний сигнал: аналоговий 4 ... 20 мА;
- Матеріал датника: корпус - полікарбонат, кронштейн - нержавіюча сталь;
- Температура навколишнього середовища: $-18^{\circ} \dots +70^{\circ} \text{C}$;
- Ступінь захисту: IP50;
- Діапазон вимірювання: 120мм / 317мм / 635мм / 1270мм;
- Точність: 0,25% від діапазону вимірювання;
- Повторюваність: 0,05% від діапазону вимірювання.



Рис. 3.5. Загальний вигляд тросового датника лінійного переміщення Celesco SP3

3.3. Вибір виконавчих механізмів

Система туманоутворення є одним з найбільш передових методів зволоження ґрунту та рослин. Ця технологія полягає в розпиленні на ділянці дрібнодисперсних частинок води. В результаті відбувається не тільки зволоження ділянки, але і зміна температури (рис. 3.6).

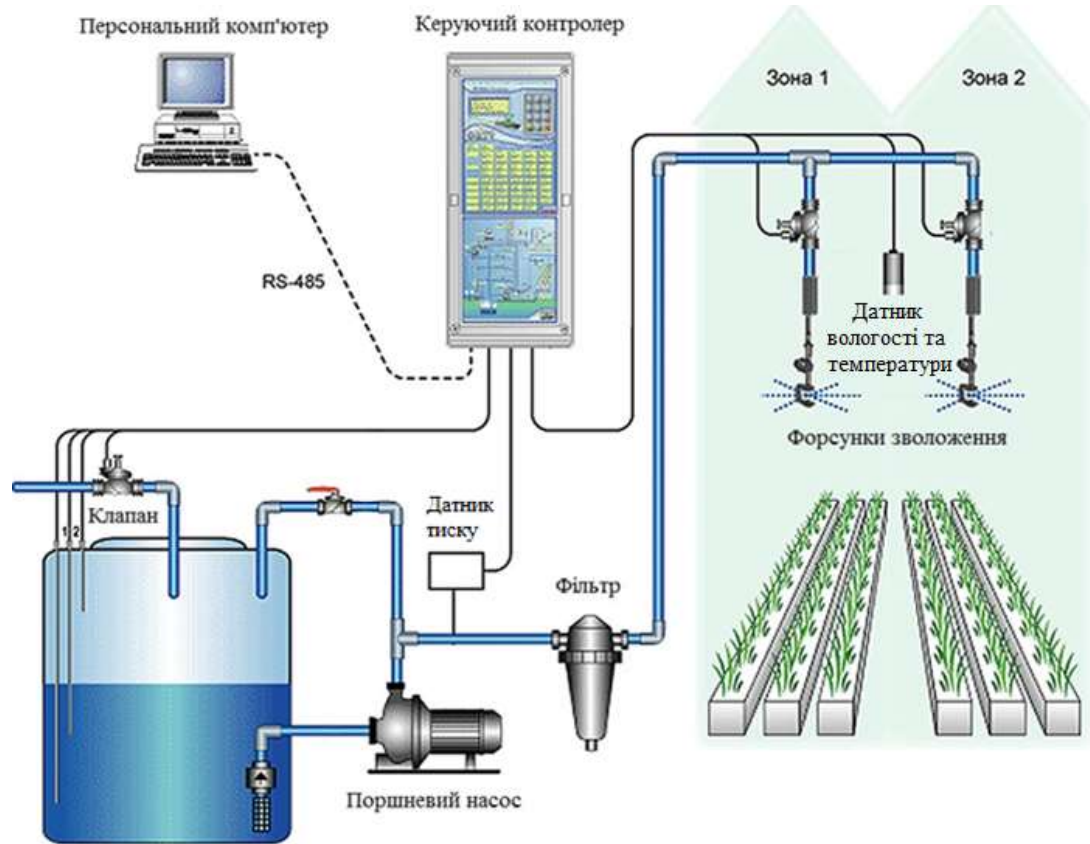


Рис. 3.6. Загальний вигляд системи туманоутворення

Для коректної роботи системи туманоутворення обрано певні виконавчі механізми. Для цього проведено ряд розрахунків:

Електродвигун

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

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} 100\% = \frac{1.1 \cdot 9810 \cdot 0.9 \cdot 18}{1000 \cdot 0.95 \cdot 3600 \cdot 1.0} 100\% \approx 5.11 \text{ кВт}; \quad (3.1)$$

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, обираємо асинхронний трифазний електродвигун АІР112М4 загальнопромислового призначення для роботи від напруги 220/380 В при частоті 50 Гц в якості виконавчого механізму (рис. 3.7).



Рис 3.7. Загальний вигляд електродвигуна АІР 112М4

Технічні характеристики трифазного асинхронного двигуна АІР 112М4 відображено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Основні технічні характеристики трифазного асинхронного двигуна АІР 112М4

Тип	Потужність, кВт	Частота обертів, об/хв	ККД, %	$\cos \varphi$	Струм при 380В (Ном.)	Іном, А
АІР 112М4	5,5	1500	85,7	0,83	11.7	11.7

Насос високого тиску

Було обрано італійський плунжерний (поршневий) насос високого тиску HAWK NHD 1520 CR (рис. 3.8) як основний компонент кожної системи туманоутворення. Цей вибір ґрунтується на ряді переваг:

1. Використання колінчастого валу є найоптимальнішим рішенням, що гарантує довговічність експлуатації.
2. Повністю керамічні поршні значно більш стійкі до навантажень.
3. Головка з латуні дозволяє створювати більший тиск, що надзвичайно важливо для утворення крапель меншого діаметру на виході, забезпечуючи якісний туман.

Використання клапанів швидкого доступу дає легше і швидше обслуговування насосів.



Рис 3.8. Загальний вигляд плунжерного насосу високого тиску «HAWK NHD 1520 CR».

В табл. 3.4. відображені 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 показано на рис. 3.9.

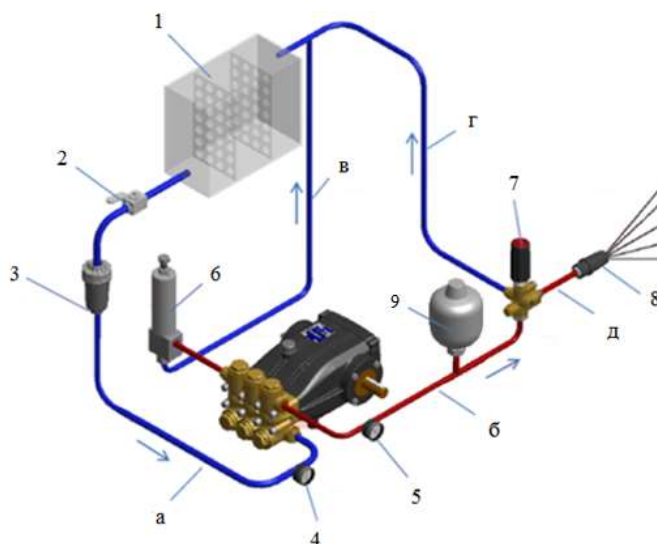


Рис. 3.9. Схематичне зображення підключення насоса високого тиску

- 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, які можуть бути виготовлені з латуні, сталі або повністю з нержавіючої сталі в залежності від конкретних потреб (рис. 3.10). Вони оснащені протикраплинною конструкцією, що запобігає витоку крапель після вимкнення системи. У системах туманоутворення використовуються форсунки з отвором діаметром від 15 до 120 мікрон.



Рис. 3.10. Загальний вигляд протикраплинної розбірної форсунки.

Монтаж систем туманоутворення

Системи туманоутворення найчастіше монтується за допомогою запресовки в гнучку багат шарову пластикову трубу (рис. 3.11). Завдяки своїй тришаровій конструкції, ця труба володіє наступними характеристиками:

- Висока міцність на розрив;
- Велика гнучкість (мінімальний радіус вигину - 45 мм), що робить її дуже зручною для монтажу;

- Висока стійкість до зношування та хімічного впливу;
- Мінімальні втрати тиску;
- Робочий тиск - 200 Бар;
- Тиск руйнування - 800 Бар.



Рис. 3.11. Загальний вигляд протикраплинної розбірної форсунки

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

Щодо *вентиляторів*, для перемішування повітря всередині теплиці був обраний вентилятор Турбовент ВСХ 1100. Його основною функцією буде розподіл повітря по всіх зонах секції для урівнювання температури у всьому просторі теплиці (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Зовнішній вигляд вентилятора Турбовент ВСХ 1100

Таблиця 3.5

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:

$$W_{\text{BM}}(s) = \frac{K_{\text{BM}}}{T_{\text{BM}} \cdot s + 1} \quad (3.2)$$

Постійну часу виконавчого механізму визначаємо:

$$T_{\text{BM}}(s) = \frac{I(S \cdot \omega_{\text{H}})}{2M_x} = 5.2 \text{ с.} \quad (3.3)$$

де $S=0.1 \text{ мм}^2$ (ковзкість);

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

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

$$k_{\text{BM}} = \frac{\omega_{\text{H}}}{U_{\text{H}}} = \frac{600}{380} = 1.5 \quad (3.4)$$

Передатна функція матиме вигляд:

$$W_{\text{BM}}(s) = \frac{1.5}{22s+1} \quad (3.5)$$

Система вентиляції фрамугами

Система вентиляції теплиці призначена для природного провітрювання зовнішнім повітрям через фрамуги з метою підтримки оптимальної температури і вологості (рис. 3.13). Фрамуги надходять вже зібраними на заводі, що гарантує їх бездоганну геометрію. Ущільнювачі зі спеціальної гуми по периметру фрамуг служать для економії тепла та забезпечують щільне примикання під час закриття. Цей матеріал залишається пластичним навіть при низьких температурах і не примерзає до профілів покрівлі. Прорізи фрамуг розташовані по ковзанах даху у шаховому порядку.

Фрамуги теплиці відкриваються до 46 градусів, забезпечуючи вентиляцію до 25% її площі. Система керування з мотор-редукторами, валами та рейковими редукторами забезпечує синхронний рух фрамуг. Роздільне керування для кожної сторони та подвійні приводи у великих секціях гарантують рівномірний розподіл температури.

Автоматизована система управління теплицею регулює положення фрамуг на основі заданих параметрів їх типу та площі, забезпечуючи точне керування мікрокліматом.

Система автоматичного керування вентиляцією теплиці використовує дані з метеостанції, що включають швидкість вітру, зовнішню температуру та наявність опадів. Ці дані є основою для розрахунку необхідного повітрообміну в кожній окремій частині кожного відділення теплиці. Система враховує площу вентиляційних отворів та, залежно від напрямку вітру, диференційовано керує кутом відкриття навітряних та підвітряних фрамуг. На основі цих розрахунків формуються команди для мотор-редукторів, що безпосередньо керують механізмами відкривання та закривання фрамуг, забезпечуючи тим самим оптимальний мікроклімат в теплиці.

Мотор-редуктори забезпечують точне позиціонування фрамуг, а вбудовані потенціометри контролюють та відстежують їх положення.

Використання високоякісних матеріалів, таких як алюміній, нержавіюча сталь та сталь з гарячим цинкуванням, гарантує довговічність та надійність роботи системи вентиляції.



Рис. 3.13. Загальний вид мотор-редуктора в системі вентиляції в теплиці

Мотор-редуктор ALK-75-533 є відмінним вибором для системи вентиляції в теплиці з наступними ключовими характеристиками:

- Вологозахищений та адаптований під критичні умови роботи, включаючи високу вологість та температуру.
- Має м'яке з'єднання, що запобігає осьовому биттю та зменшує навантаження на редуктор.
- Наявність регулювання діапазону підйому та плавних налаштувань, що усуває необхідність у встановленні кінцевих вимикачів.
- Завдяки правильно підбраному передатному числу, можливий підйом на відстань до 200 метрів.
- Підтримує живлення від 220В або 380В.
- Має потужність приводу 500 Вт.
- Забезпечує крутний момент 800 Нм при 380В.
- Швидкість регулюється в межах від 20 до 30 обертів за хвилину.

- Клас захисту від вологи - IP57.

Цей мотор-редуктор відповідає вимогам надійності та витривалості, що необхідні для системи вентиляції теплиці.



Рис. 3.14. Загальний вигляд мотор-редуктора ALK-75-533

Зубчаста рейка приводу фрамуг (рис. 3.15).

Зубчаста рейка вентиляції використовується для пристрою рухомих частин, таких як фрамуги для дахового, бокового та торцевого провітрювання в теплиці. Ці рейкові приводи можуть бути керовані як вручну, так і автоматично, безпосередньо за допомогою одного мотор-редуктора на кожен вентиляційний отвір.

Сама зубчаста рейка представляє собою пряму рейку з косими або зубцями, яка входить у пару з шестернею. Ці два компонента утворюють так звану зубчато-рейкову передачу, яка використовується для перетворення крутного моменту, отриманого від шестерні, в прямолінійний рух виконавчого механізму, у цьому випадку – фрамуги вентиляційного отвору.



Рис. 3.15. Загальний вид рейкового приводу системи вентиляції в теплиці

3.4. Час квантування цифрової системи керування

Цифрова система управління (ЦСУ) – це система, де неперервний сигнал перетворюється в цифровий код, і керування відбувається за допомогою алгоритмів цифрової обробки інформації.

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу конкретними дискретними значеннями. Вибір оптимального інтервалу часу квантування T_k є однією з основних завдань при реалізації ЦСУ.

Згідно з теоремою Котельникова для можливості безпомилкового відтворення сигналу, аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи показує, що найменша частота квантування повинна бути рівною $2w_c$, де w_c – частота відсічки вихідного сигналу, яка визначається в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує, що сигнал, який не має частот вище, ніж w_c рад/с, може бути повністю описаний за допомогою своїх значень, виміряних у дискретні моменти часу з інтервалом: $T_k = \pi w_c$.

Визначення передатної функції неперервної частини розімкненої системи:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{K_B}{T_B s + 1} \frac{K_0}{T_0 s + 1} \frac{K_B K_0}{(T_B + T_0) s + 1} \quad (3.6)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$W_{\text{поз}}(s) = \frac{0.33}{96800s^3 + 16676s^2 + 580s + 1} \quad (3.7)$$

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:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}} = \frac{W_{\text{поз.}}^{\text{н.ч.}}(s)}{1 + W_{\text{поз.}}^{\text{н.ч.}}(s)} = \frac{K_B K_0}{(T_B + T_0 s^2 + (T_B T_0) s + 1) + K_B K_0} \quad (3.8)$$

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам}}(j\omega) = \frac{K_B K_0}{(T_B T_0 (j\omega)^2 + (T_B T_0) (j\omega) + 1) + K_B K_0} \quad (3.9)$$

У результаті розв'язання рівняння :

$$A(\omega) = \frac{K_B K_0}{\sqrt{(-T_B T_0 \omega^2 + 1 + K_B K_0)^2 + (T_B T_0)^2 \omega^2}} = 0.01 \quad (3.10)$$

Амплітудно-частотна характеристика автоматизованої системи керування показана на рис. 3.16.

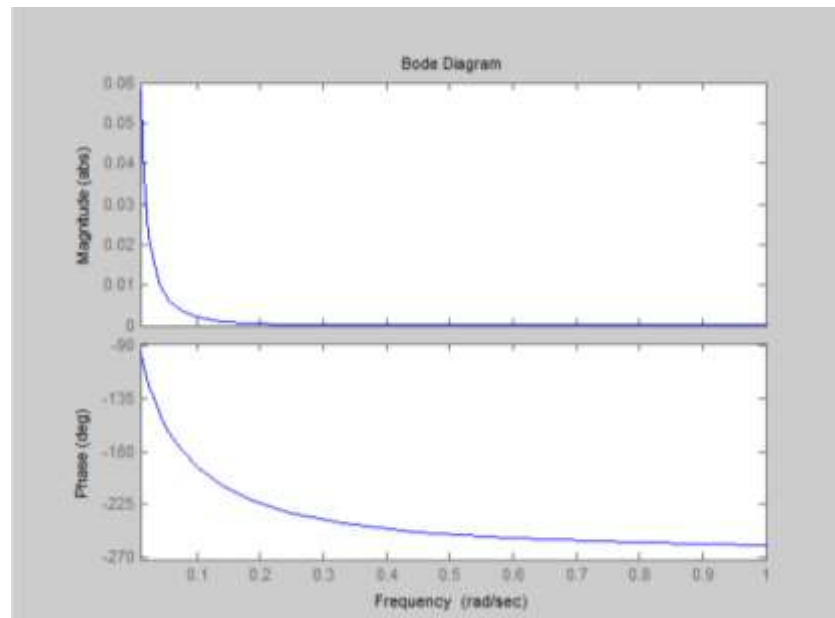


Рис. 3.16. Амплітудно-частотна характеристика автоматизованої системи керування вологістю

Отримаємо значення частоти:

$$\omega_c = 0.05 \text{ 1/c}$$

і значення часу квантування:

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

3.5. Реалізація цифрового ПІ-регулятора

У цифрових системах, аналогічно до неперервних систем, можна використовувати ПІ закон регулювання. Синтез ПІ-регулятора включає визначення параметрів K_p , K_i . Параметр інтегральної складової регулятора, що залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається за формулою 3.44:

$$K_i = K_v \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) W_{н.ч}(z) \quad (3.11)$$

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

Відповідно до таблиці, де $K_v = 0,01$, і $T_0 = 550$ секунд, визначаємо передатну функцію $W_{н.ч.}(z)$. Для цього використовуємо пакет програм MATLAB (рис. 3.17), застосовуючи операції, які дозволяють перетворити передатну функцію неперервної системи на дискретну за допомогою Z-перетворення $wz = c2d(w, T)$.

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

При синтезі ПІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу СЕ.

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 ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{PI}(z) = \frac{K_i \cdot T}{2} \frac{z+1}{z-1} = \frac{2 \cdot K_p \cdot z - 2 \cdot K_p + K_i \cdot T \cdot z + K_i \cdot T}{2z-2} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T)z + (K_i \cdot T - 2 \cdot K_p)}{2(z-1)} = \frac{(2 \cdot K_p + K_i \cdot T) \left[z + \frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{2 \cdot K_p + K_i \cdot T} \right]}{2(z-1)} \quad (3.12)$$

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

Параметр знаходимо за допомогою програми MathCAD (рис. 3.18.).

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. 3.18. Знаходження параметру K_p за допомогою програми MathCAD

Для аналізу показників ефективності роботи системи використовується модель у програмному середовищі Simulink (рис. 3.19).

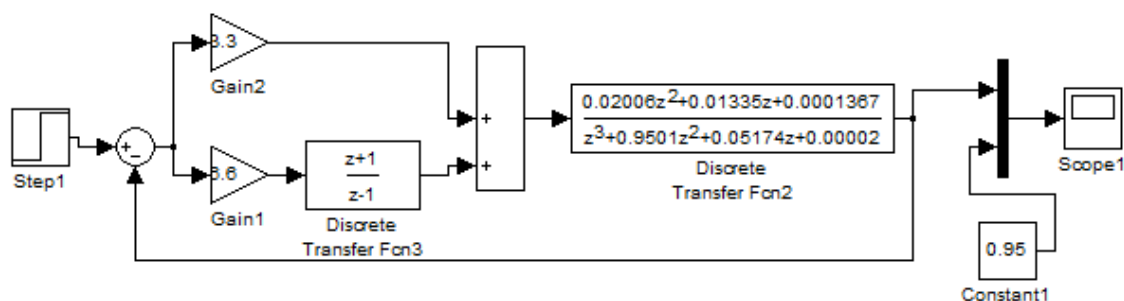


Рис. 3.19. Структурна модель цифрової системи

Та отримаємо перехідний процес системи з ПІ-регулятором (рис. 3.20).

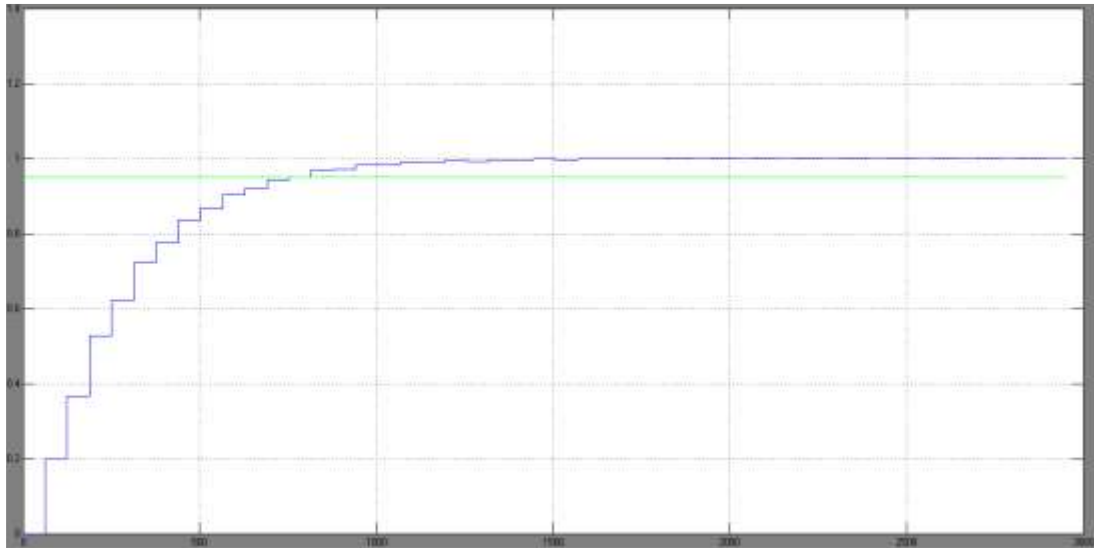


Рис. 3.20. Перехідний процес системи з ПІ-регулятором.

3.6. Дослідження цифрової системи керування на стійкість та якість

Використовуючи відкриту 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:

$$z \cong (-0.0024653548578; -0.1253454446373; -0.0444619277777; 3)$$

Згідно критерію Джурі бачимо, що знайдені корені задовольняють вимоги стійкості:

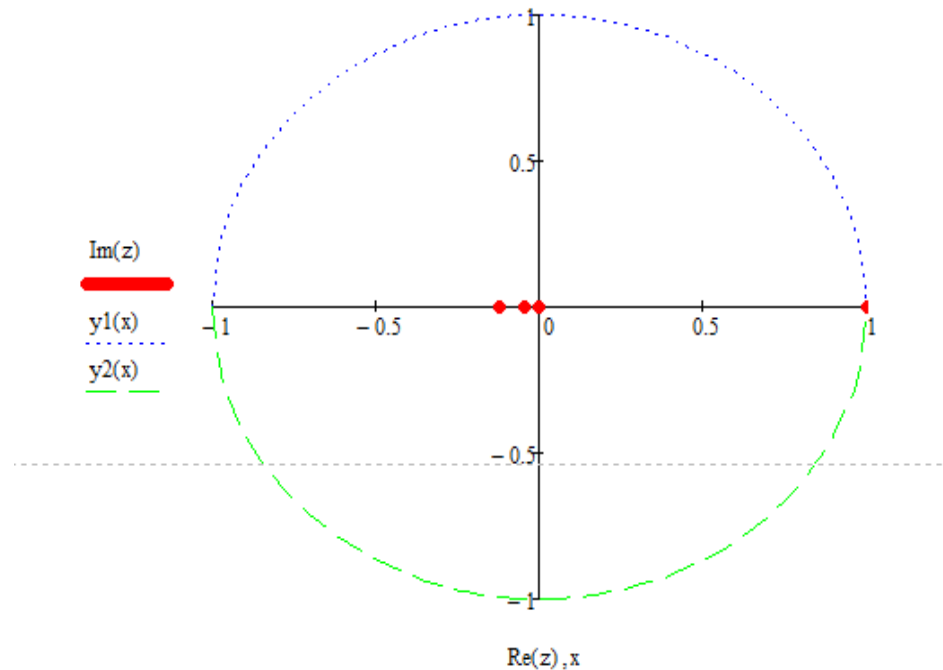


Рис. 3.21. Корені характеристичного рівняння на площині

Згідно рис. 3.31. визначаємо:

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

3.7. Вибір керуючого елемента

Для втілення ПІ закону регулювання обрано програмований логічний контролер (ПЛК) від компанії ОВЕН, конкретно модель ПЛК200. Цей пристрій дозволяє реалізувати цифровий закон регулювання за допомогою мов програмування, наприклад, FBD. Для вимірювання вологості використовуються датчики вологості, які передають аналогові сигнали до логічного контролера. Для втілення розрахованого

алгоритму керування було обрано програмований логічний контролер ПЛК200 від фірми ОВЕН.



Рис. 3.22 Програмовано-логічний контролер ПЛК200-03-CS

ПЛК200 є компактним та потужним мікропроцесорним контролером, який відзначається високою продуктивністю та швидкістю обробки даних. Основне призначення цього пристрою – автоматизація систем контролю та управління технологічними процесами на промислових підприємствах.

Логіка роботи контролера програмується за допомогою середовища розробки Codesys V3.5. У цьому середовищі підтримуються всі мови програмування, визначені стандартом МЕК 61131-3:

- LD: Релейно-контактні схеми;
- FBD: Функціональні блокові діаграми;
- SFC: Послідовні функціональні діаграми;
- ST: Структурований текст;
- IL: Список інструкцій.

Таблиця 3.7

Технічні характеристики мікропроцесорного пристрою керування

Параметр	Значення (властивості)
Живлення	
Напруга живлення	10...48 В (номінальна 24 В)
Споживана потужність, не більше	10 Вт
Захист від переполюсування	Є
Обчислювальні ресурси	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Об'єм флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND)
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Об'єм Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)
Час виконання порожнього циклу (стабілізований)	3 мс
Інтерфейси зв'язку	
Ethernet 100 Base-T	
Кількість портів	2 × Ethernet 10/100 Мбіт/с (RJ45)
Підтримувані промислові протоколи*	ModBus TCP (Master / Slave), OPC UA (Server), MQTT, SNMP (Manager/Agent)
Підтримувані прикладні протоколи	NTP, FTP, SSH, HTTP, HTTPS
RS-485	

Таблиця 3.8

Технічні характеристики мікропроцесорного пристрою керування

Кількість портів	1
Підтримувані протоколи*	Modbus RTU (Master / Slave), Modbus ASCII (Master / Slave), ОВЕН (Master), Протоколи тепло/електролічильників
Швидкості передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с
Підтягувальні резистори	Є
USB Device	
Кількість портів	1 × micro USB (RNDIS)
Підтримувані протоколи	CODESYS Gateway, FTP, SSH, HTTP, HTTPS
Накопичувачі, що їх підключають	
SD card	
Кількість рознімачів	1
Тип	microSD
Максимальна ємність	4 ГБ (microSD), 32 ГБ (microSDHC), 512 ГБ (microSDXC)
Годинник реального часу	
Похибка ходу, не більше: при температурі +25 °С при температурі -40 °С і +55 °С	3 секунди за добу 18 секунд за добу
Тип джерела живлення	Батарея CR2032
Термін роботи на одній батареї	5 років
Загальні відомості	
Габаритні розміри	(82 × 124 × 83) ±1 мм

Таблиця 3.9

Технічні характеристики мікропроцесорного пристрою керування

Маса, не більше	1,2 кг
Ступінь захисту корпусу за ДСТУ EN 60529	IP20
Індикація на передній панелі	Світлодіодна
Вбудоване обладнання	Джерело звукового сигналу Двопозиційний тумблер СТАРТ / СТОП Сервісна кнопка
Середнє напрацювання на відмову**	60 000 год
Середній термін служби	8 років

Таблиця 3.10

Дискретні входи (DI і FDI)

Параметр	Значення (властивості)	
	Дискретні входи (DI)	Швидкі дискретні входи (FDI)
Режими роботи	визначення логічного рівня	визначення логічного рівня лічильників високочастотних імпульсів вимірювання частоти обробка сигналів енкодера
Тип входів за ДСТУ EN 61131-2	1	
Максимальний струм «логічної одиниці»	5,5 мА	

Таблиця 3.4

Дискретні входи (DI і FDI)

Максимальний струм «логічного нуля»	1,3 мА	
Напруга «логічної одиниці»	9...30 В	
Напруга «логічного нуля»	0...5,5 В	
Гістерезис включення «логічної одиниці», не менше	0,5 В	
Вхідні пристрої, що їх підключають	контактні датчики, трипроводові датчики, що мають на виході транзистор n-p-n або р-n-р-типу з відкритим колектором	контактні датчики, трипроводові датчики, що мають на виході транзистор n-p-n або р-n- р-типу з відкритим колектором, АВ і АВZ енкодери
Мінімальна тривалість імпульсу, що сприймається входом	3 мс*	5 мкс
Максимальна частота вхідного сигналу	300 Гц*	95 кГц 45 кГц**

Таблиця 3.11

Аналогові входи (AI)

Параметр	Значення	
Сигнали, що їх підключають	див. таблицю	
Розрядність АЦП	16 біт	
Час опитування одного входу, не більше*	Уніфіковані сигнали	0,6 с
	ТО	0,9 с
	ТП	0,6 с
	Опору	0,6 с

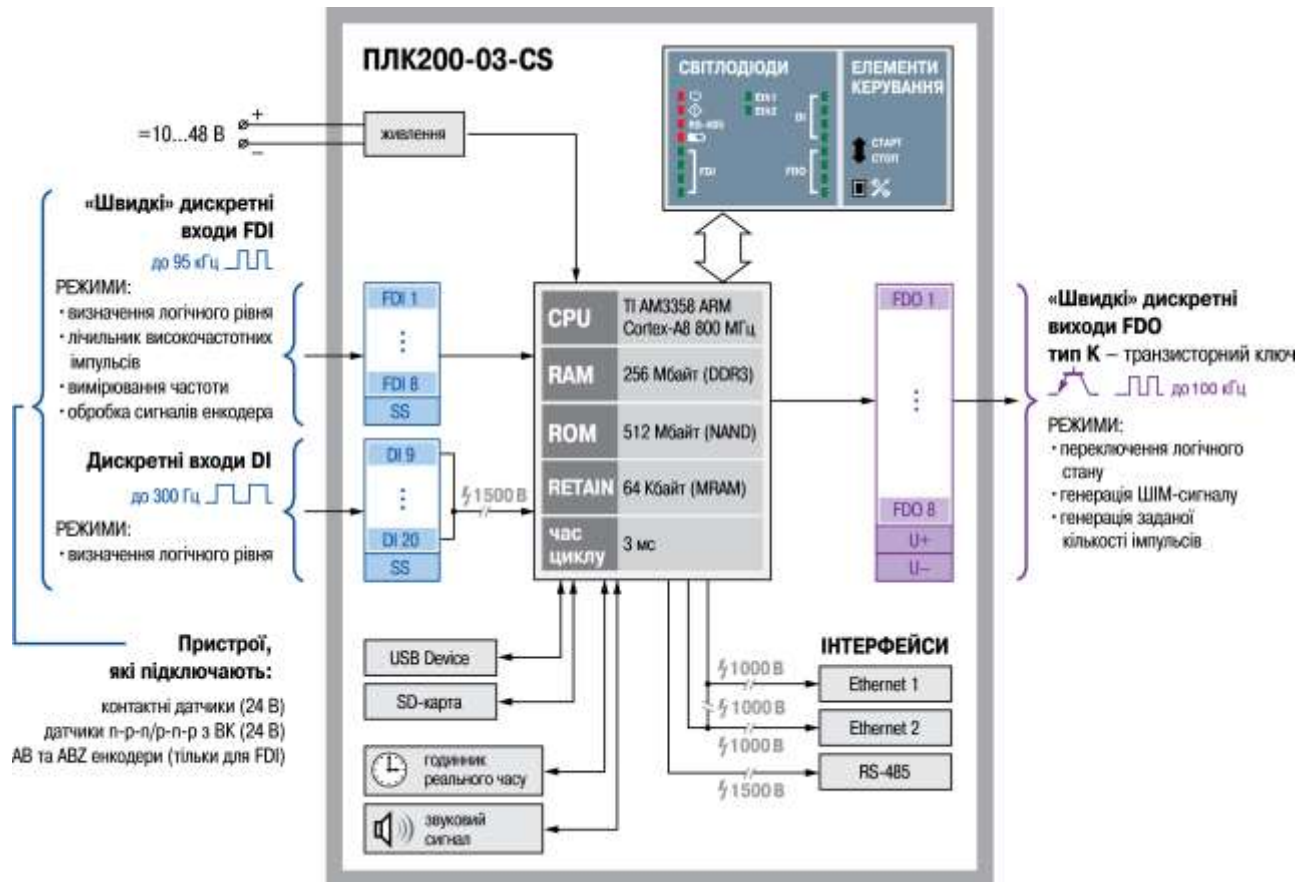


Рис. 3.23 Функціональна схема ПЛК200-03-CS

Конструкція

Контролер доступний в конструктивному виконанні для установки на DIN-рейку (35 мм) або кріплення на стіну.

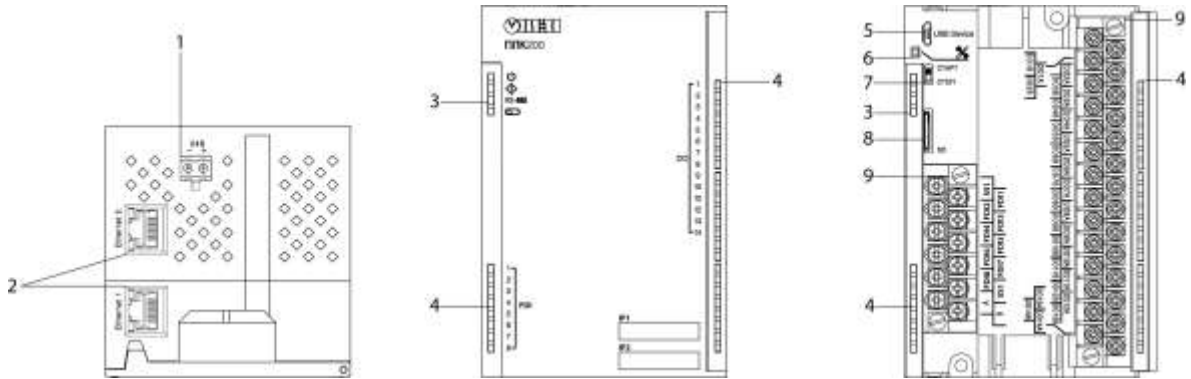


Рис. 3.24 ПЛК200-03-CS вигляд спереду, збоку, іззаду

Таблиця 3.12

Опис елементів конструкції

№	Найменування	Опис
1	Порт 24 В	Порт живлення (див. розділ 5.2)
2	Ethernet (Рознімач RJ45)	Порти Ethernet 100 Base-T для підключення контролера до локальних мереж, передачі даних і програмування (див. розділ 5.8)
3	Найменування	Опис
4	Світлодіодні індикатори стану контролера	Індикація стану контролера (див. розділ 3.3): Живлення ; Робота ; Передача даних по інтерфейсу RS-485; Батарея

5	Світлодіодні індикатори стану входів і виходів	FDI – швидкі дискретні входи; DI – дискретні входи; FDO – швидкі дискретні виходи; DO – дискретні виходи; AI – аналогові входи
6	USB Device (роз'єм Micro-USB)	Порт для налаштування контролера, завантаження проектів і налагодження ПЗ (див. розділ 5.9)
7	Сервісна кнопка	Виконує такі функції: дискретний вхід; оновлення вбудованого ПЗ
8	Тумблер СТАРТ/СТОП	Двопозиційний перемикач (див. розділ 3.5)

Таблиця 3.13

Опис елементів конструкції

9	SD	Слот для підключення SD-карти (див. розділ 3.4)
10	Знімні клемні колодки	Для підключення датчиків, виконавчих механізмів та інтерфейсу RS-485 (див. розділ 5.3)

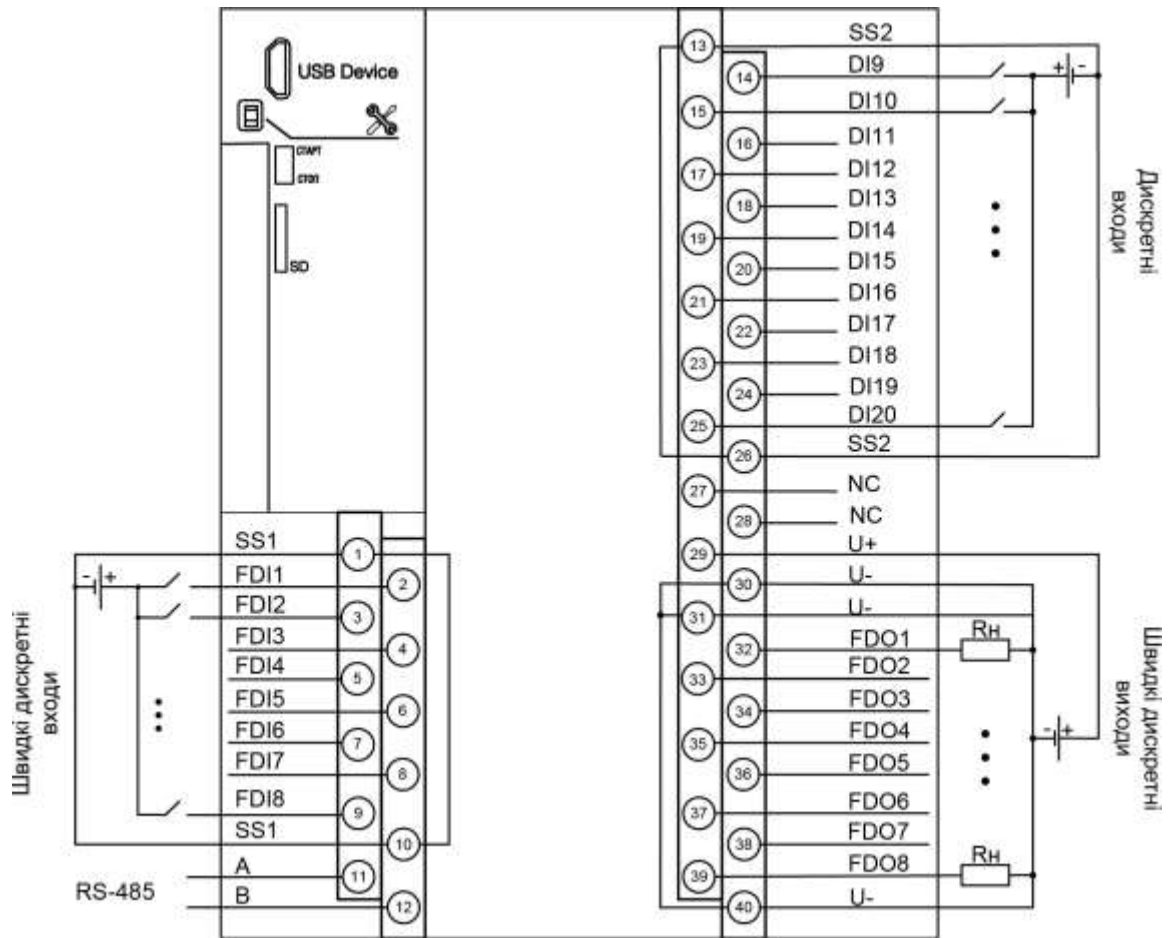


Рис. 3.25 Схема входів і виходів в ПЛК200-03-CS

Таблиця 3.14

Призначення контактів клемника (модифікація 03)

Найменування	Призначення
FDI1–FDI8	Швидкі дискретні входи
SS1	Загальні точки входів FDI1–FDI8
DI9–DI20	Дискретні входи
SS2	Загальні точки входів DI9–DI20
FDO1–FDO8	Швидкі дискретні виходи типу транзисторний ключ
A, B	Клеми для підключення по інтерфейсу RS-485
U+, U–	Напруга живлення виходів FDO1–FDO8

NC (Not connected)	Немає підключення
--------------------	-------------------

Графічна монохромна панель оператора ІП320

Графічна панель оператора ІП320 призначена для об'єктів автоматизації з невеликим набором параметрів і може взаємодіяти як з контролерами ОВЕН ПЛК, так і з пристроями та контролерами інших виробників (рис. 3.26). Для полегшення обміну даними між контролерами виявився ефективним механізм мережевих змінних. Цей механізм дозволяє операторові, який перебуває в віддаленій теплиці, отримувати інформацію про температуру, вологість зовнішнього повітря та інші дані на панелі оператора ІП320. Датники, які вимірюють ці фізичні величини, підключені до ПЛК верхнього рівня і доступні всім контролерам першого рівня завдяки простому та швидкому доступу до мережевих змінних.



Рис. 3.26. Основні характеристики графічної монохромної панелі оператора ІП320 включають:

- Підтримку роботи у мережах RS-485 та RS-232 у режимах Master та Slave.
- Сумісність із контролерами різних виробників.
- Підтримку універсального протоколу Modbus RTU.
- Монохромний графічний РК дисплей з роздільною здатністю 192x64 пікселя та підсвічуванням.
- Можливість читання, редагування та передавання значень параметрів у

мережу.

- Захист паролем від несанкціонованих змін параметрів та переходу на інші екрани.
- Напругу живлення 24 В постійного струму.
- Нижче наведено приклад системи управління мікрокліматом в теплиці за допомогою технічних засобів від Овен (рис. 3.27).

Детальна структура забезпечує широкі комунікаційні можливості, що дає змогу підключитися до пристрою верхнього рівня за допомогою стандартних інтерфейсів та протоколів. Перший рівень АСУ реалізований на базі модулів введення/виведення Овен МВ110-224.8А, операторської панелі ОВЕН ІП320, датчиків температури та інших пристроїв з інтерфейсом RS-485/RS-232. Польова мережа побудована з декількома лініями передачі даних. Операторська станція отримує дані з контролерів через мережу Ethernet для ведення журналу подій з реєстрацією реального часу, виявлення збоїв та управління непередбачуваними ситуаціями. На комп'ютері відображаються всі контрольовані параметри теплиці, а також можливість задавати нові налаштування для регуляторів і фрамуг. SCADA-система використовується як OPC-клієнта. У межах системи вирішені всі завдання з архівації, сигналізації, протоколювання та організації інтерфейсу оператора.

Перший рівень об'єднує програмовані контролери Овен ПЛК200 (по одному на кожну теплицю) з контролером верхнього рівня (ПЛК200), операторською станцією та модулями дискретного введення/виведення ОВЕН МУ110-224.8Р через мережу Ethernet. До процесорних модулів можна підключити різні зовнішні пристрої через послідовний інтерфейс RS-485/RS-232. Механізм мережевих змінних спрощує обмін даними між контролерами, дозволяючи оператору з віддаленого місця бачити дані про температуру, вологість та параметри повітря, а також швидкість та напрям вітру на панелі оператора ІП320. Датчики, які вимірюють ці показники, підключені до ПЛК верхнього рівня і доступні всім контролерам першого рівня через мережу Ethernet. Контролер верхнього рівня відповідає за управління всім тепличним комплексом (за

винятком особливостей кожної окремої теплиці), враховуючи стан зовнішнього середовища, швидкість та напрям вітру, а також контролює температуру та тиск теплоносія на вході та виході. У контролерах теплиці вирішуються завдання автоматизованого регулювання температури за допомогою двох контурів обігріву, управління циркуляційними насосами і приводами фрамуг, включенням/виключенням освітлення. В теплиці застосовується подвійне регулювання: один термостат встановлений на поверхні підлоги, другий - у верхній точці, під коником даху. Щит управління з вбудованими ПЛК150 і панелью оператора ПП320 розташований в непосредній близькості від входу в теплицю. Введення аналогових сигналів, таких як температура, вологість, показники положення регулюючих клапанів і фрамуг, відбувалося за допомогою модулів MB110-224.8A. Для введення сигналів стану обладнання та виведення керуючих сигналів використовувалися канали контролера ПЛК150 та канали модуля МУ110-224.8P.

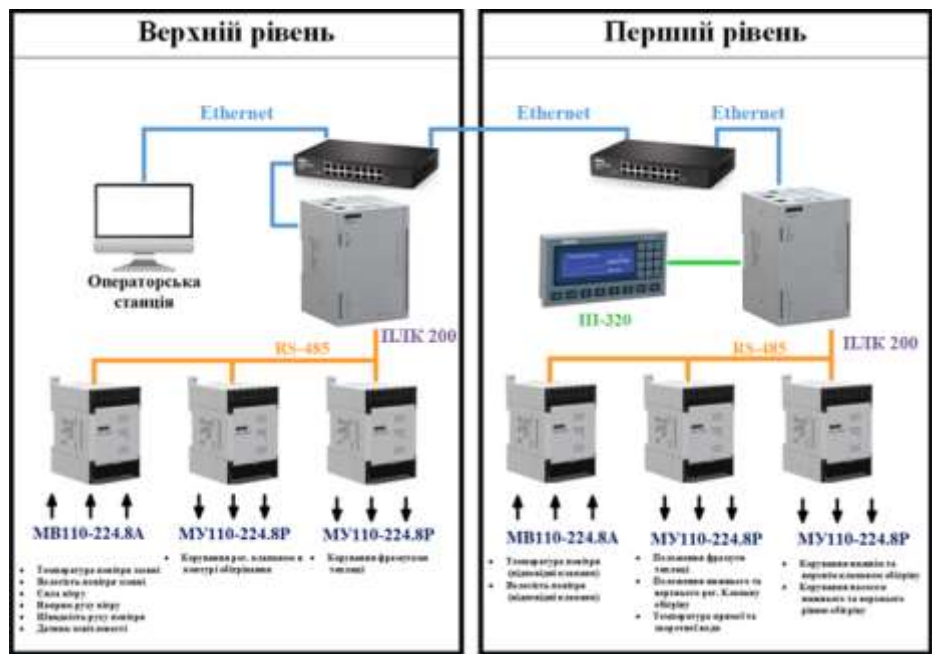


Рис. 3.27. Схематичне зображення системи автоматичного керування мікрокліматом у теплиці за використання технічних засобів ОВЕН

3.8. Вдосконалення керування SCADA-системи

SCADA, що означає "супервізорний контроль і збір даних", є системою керування та моніторингу, яка включає програмно-операторні засоби для взаємодії через глобальні мережі.

Використання SCADA-технологій дозволяє досягти високого рівня керування системою у вирішенні завдань розробки систем управління, збору, обробки, передачі, зберігання та відображення інформації.

SCADA-системи повинні відповідати основним вимогам:

- Надійність системи (технологічна та функціональна).
- Безпека управління.
- Точність обробки та представлення даних.
- Простота розширення системи.

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах представлений у вигляді мнемосхем, які відображають основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші складові системи.

Будування людино-машинного інтерфейсу здійснюється за допомогою графічних елементів, які поділяються на три типи: статичні елементи (графічне оформлення екрана), динамічні елементи (форми відображення) та графічні об'єкти.

Для побудови системи контролю і управління тепловою електростанцією, враховуючи наявні точки контролю, виконавчі механізми та апаратні засоби автоматизованого управління, використовується програмне середовище TRACE MODE 6.

Створимо систему моніторингу, яка складатиметься з одного вузла АРМ. При проектуванні ми використовуватимемо механізм автоматичної побудови каналів TRACE MODE за методом "від шаблонів". Цей підхід дозволяє створювати канали у вузлі, використовуючи параметри шаблонів, де такими шаблонами виступатимуть компоненти екрана та програми.

Комп'ютерно-інтегрована система керування вологісним режимом в теплиці типу Venlo, яка використовується для вирощування овочів в літній період, реалізована за допомогою програмного забезпечення TRACE MODE 6 (рис. 3.28).

На головному екрані SCADA системи відображається весь технологічний процес, де наведені значення датчиків у відповідних одиницях вимірювання. Також вказані величини частоти струму (в герцах) з перетворювача частоти, який живить електродвигуни насоса та вентилятора, а також статус цих електродвигунів (увімкнено /вимкнено).

Додаткові кнопки керування дозволяють встановлювати режим роботи (ручний /автоматичний), налаштовувати параметри ПІ регулятора, відображати вікно з графіками температури (тренди) і відображати вікно аварійних станів (аварії). Також є можливість управління всіма виконавчими механізмами.

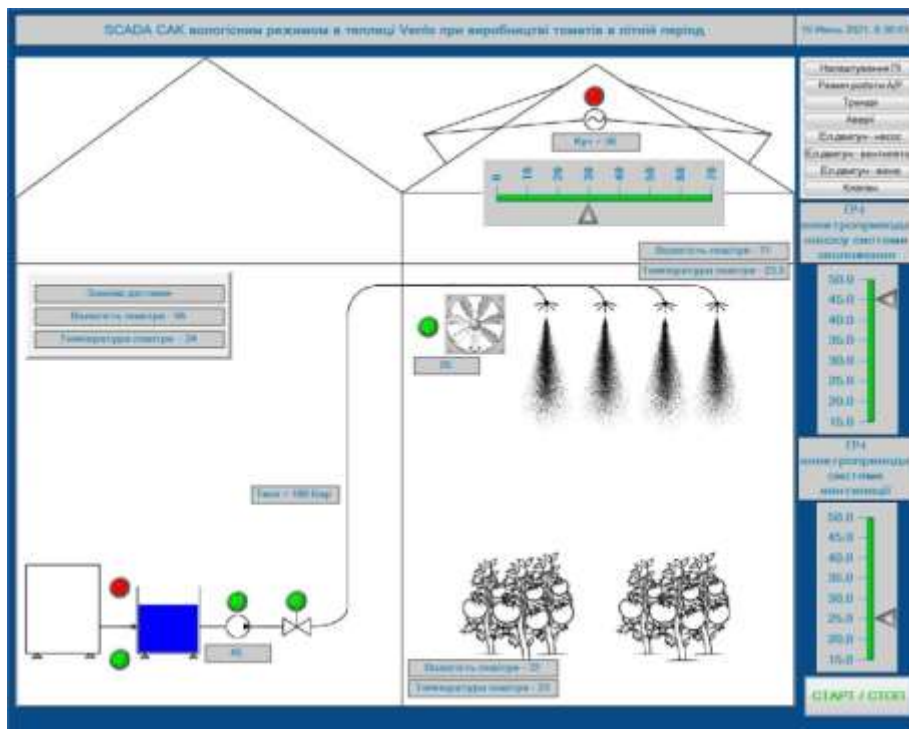


Рис. 3.28. Головний екран SCADA автоматизації системи управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період.

Графічна частина проекту для АРМ вже розроблена. Потрібно створити математичне забезпечення проекту - шаблони програм (рис. 3.29).

Далі ми розглянемо створення програми для управління вологісним режимом в теплиці типу Venlo під час вирощування овочів в літній період (рис. 3.30).

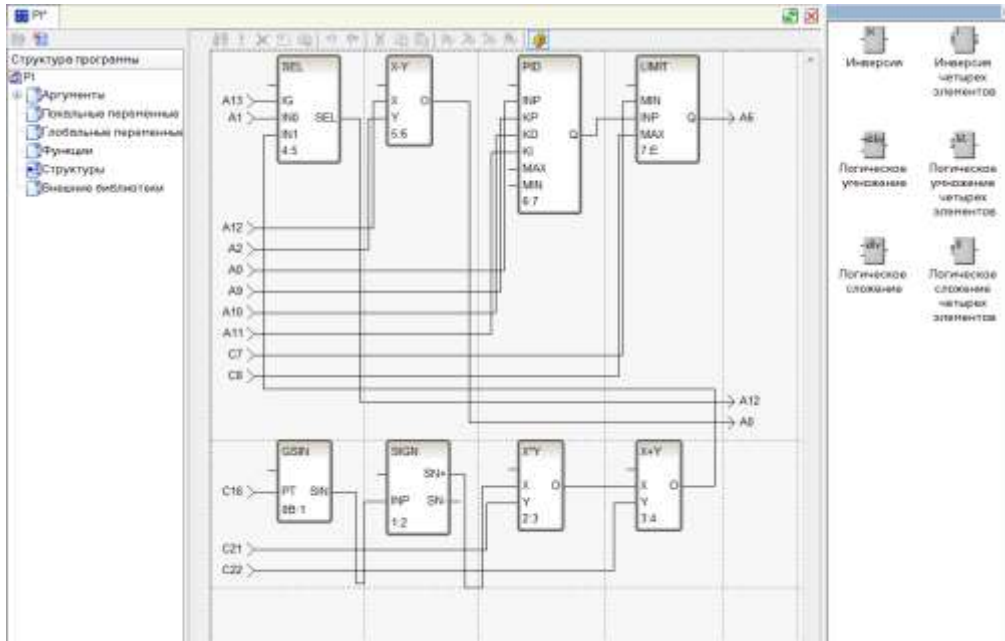


Рис. 3.29. Фрагмент програми на мові FBD реалізації ПІ регулятора в SCADA системі управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

```

PROGRAM
VAR_INPUT CntInv : REAL := 1; END_VAR
VAR_INPUT Sign : REAL := 1; END_VAR
VAR_INPUT Low : REAL := 1; END_VAR
VAR_INPUT High : REAL := 12; END_VAR
VAR_INPUT Bit : REAL := 1; END_VAR
VAR_INPUT Cnt : REAL := 1; END_VAR

if Sign > 0 then Cnt = Cnt * 2; Bit = Bit + 1;
else Cnt = Cnt / 2; Bit = Bit - 1;
end if;
if Bit <= Low then Bit = Low; Sign = 1; end if;
if Bit >= High then Bit = High; Sign = -1; end if;
CntInv = 65535 - Cnt;

END_PROGRAM

```

Рис. 3.30. Фрагмент програми на мові ST в SCADA автоматичної системи управління вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

За блок-схемою на рисунку 3.31 можна розробити алгоритм роботи програми для системи автоматичного керування вологісним режимом у теплиці типу Venlo під час вирощування овочів в літній період.

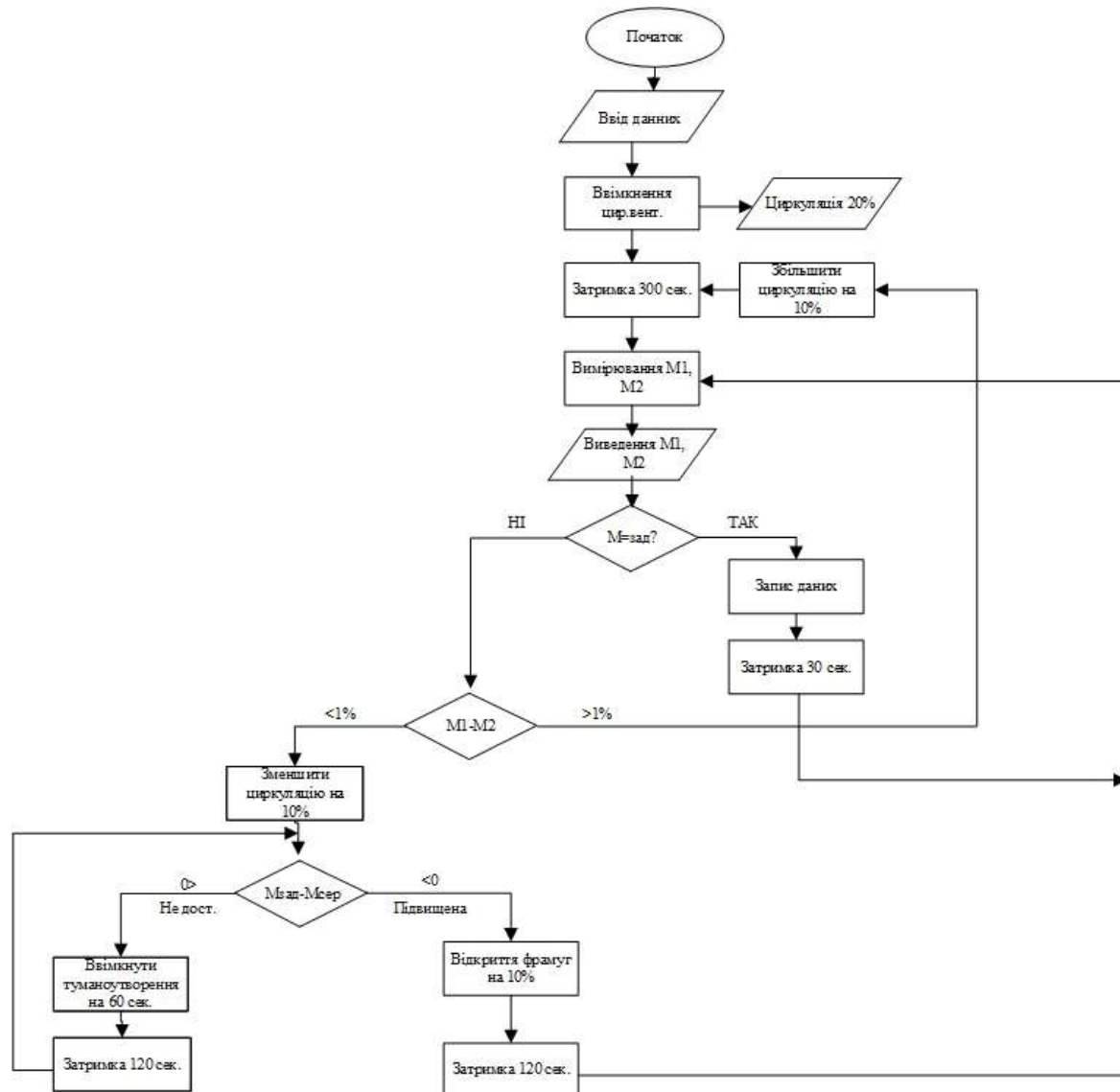


Рис. 3.31. Блок-схема алгоритму роботи програми системи автоматичного керування вологісним режимом в теплиці Venlo при виробництві овочів в літній період

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛИЦІ ТИПУ VENLO

4.1. Розроблення електричних схем керування

4.1.1. 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. 4.1.

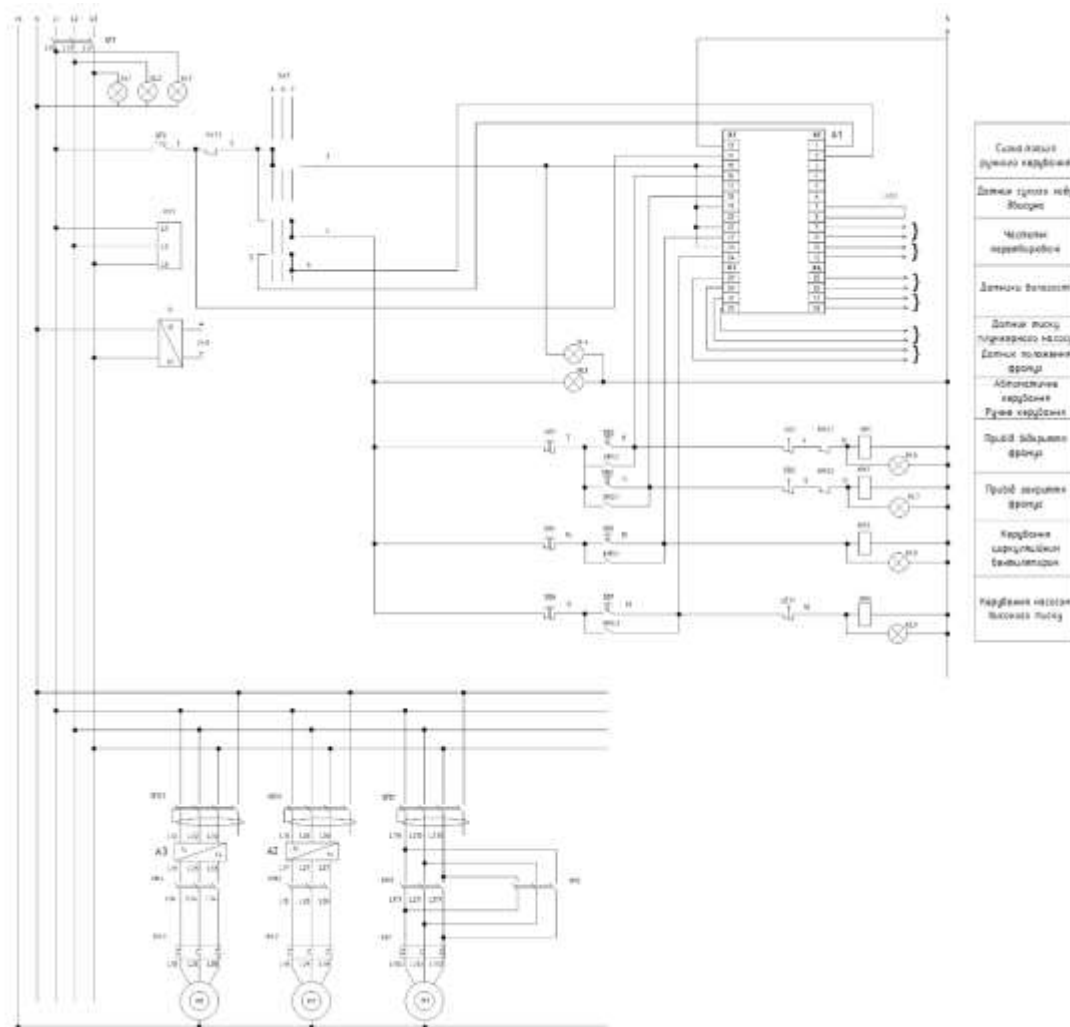


Рис. 4.1. Схематичне зображення системи керування вологістю в теплиці з використанням електротехнічних засобів

4.1.2. Розроблення схеми з'єднань

Адресний метод є найбільш поширеним в зображенні схем. Він передбачає, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, встановлених на щиті, не відображаються. Натомість, кожен апарат або елемент має цифрову або буквено-цифрову адресу, яка вказує на його електричний зв'язок з іншими елементами. Цей підхід полегшує читання схеми, оскільки не перевантажує її лініями зв'язку.

Відповідно до ДСТУ 2.702-75 "Правила виконання електричних схем", схеми з'єднань служать для відображення з'єднань між складовими частинами установки чи виробу. Вони розробляються на основі принципових схем живлення та використовуються під час монтажу та налагоджувальних робіт.

Схема з'єднань розроблена для щита керування IP54 Билмакс БМ – 93 + П (900x500x300), в якому розташовані всі комутуючі пристрої. В процесі розробки були дотримані норми маркування кабелів та ліній зв'язку, які використовуються для з'єднання всіх елементів у відповідності з ДСТУ 2.710-81 "Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах".

Схема зовнішніх з'єднань виконана адресним способом з дотриманням наступних вимог:

1. На схемі зображена одноплщинна панель керування, на якій розташовані автоматичні вимикачі QF1-QF2, кнопки керування SB1-SB7 та вимикачі SA1. Також на лівій бічній панелі розміщено клемник XT, який служить для з'єднання між елементами, розташованими на передній та задній панелях. На задній панелі розташовані автоматичні пускачі KM1-KM4.
2. Виводи кожного елемента показані у вигляді кіл, усередині яких вказано їх заводське маркування.

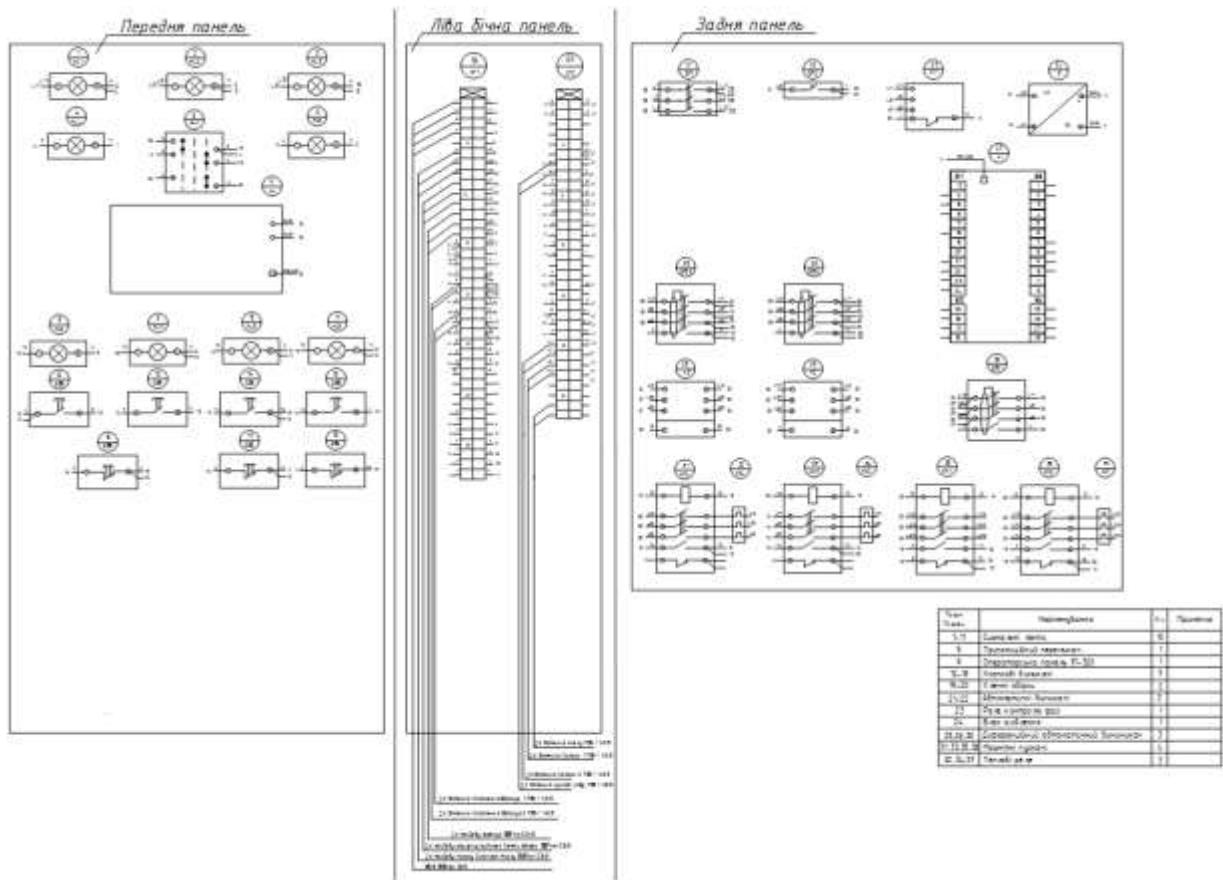


Рис. 4.2. Електрична схема з'єднань схема системи автоматичного керування вологісним режимом у теплиці

4.1.3. Розроблення схеми підключень

Схеми підключень вказують на зовнішнє підключення апаратів, установок, щитів та пультів. Графічна схема підключень є найбільш поширеним типом схем. У цій схемі використовуються умовні графічні символи для зображення:

- Первинні перетворювачі.
- Позащитові прилади та засоби автоматизації.
- З'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців термодари, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами.
- Забірну апаратуру, елементи для з'єднання та відгалуження.
- Комутаційні затискачі, розміщені поза щитами.

На лініях зв'язку, що представляють проводи або кабелі, вказується їхній номер, переріз та довжина (якщо проводка виконана в трубі, то також вказується характеристика труби).

Схеми підключень виконуються у вигляді, зручному для користування, без збереження масштабу (рис. 4.3).

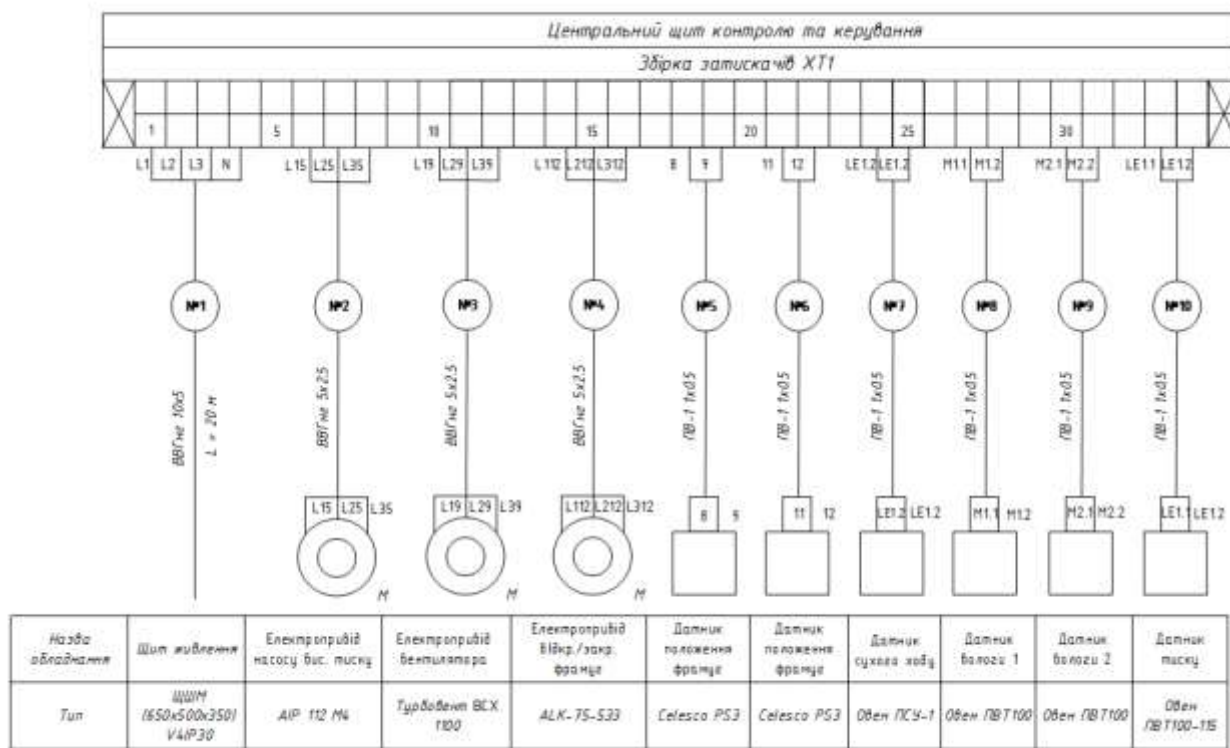


Рис. 4.3. Електрична схема підключень системи автоматичного керування вологісним режимом в теплиці

4.2. Вибір електротехнічних пристроїв

Електричні пристрої для запуску, керування та захисту - це технічні засоби, що призначені для увімкнення та вимикання, забезпечення необхідного режиму роботи та захисту споживачів електроенергії та електричних мереж. Кожен пристрій може виконувати одну чи кілька з вказаних функцій. До них відносяться:

- Рубильники

- Паке́тні вимикачі
- Кнопки керування
- Ракетно-кулачкові перемикачі
- Контактори
- Електромагнітні пускачі
- Автоматичні вимикачі

Електричний захист системи забезпечується автоматичними вимикачами, електромагнітними пускачами з тепловими реле та запобіжниками. Вибір цих пристроїв залежить від електричних параметрів (струм, напруга, потужність), кількості полюсів, вимог до захисту та умов навколишнього середовища.

Всі електричні системи повинні бути оснащені захистом від короткого замикання (КЗ). Апарати захисту мають негайно відключати струми короткого замикання та не вмикатися при пусковому струмі звичайної тривалості. Електродвигуни також потребують захисту від перевантаження, різкого впадання напруги та непередбаченого відключення.

Електромагнітні пускачі забезпечують дистанційне керування (пуск, зупинка, реверс) трифазними асинхронними двигунами, а також, завдяки тепловим реле, захищають їх від перевантажень.

Вибір електродвигунів для робочих машин та механізмів здійснюється з урахуванням таких параметрів: напруги, типу струму, частоти обертання, умов навколишнього середовища, характеру та інтенсивності навантаження.

При виборі електродвигуна важливо, щоб його частота обертання максимально відповідала частоті обертання робочої машини.

4.2.1. 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 ALK-75-533 з наступними технічними характеристиками:

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

4.2.2. Вибір автоматичних вимикачів

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

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

$$U_{\text{н.ав}} \geq U_{\text{м}} \quad (4.1)$$

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

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

- в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{\text{н.ав}} \geq I_{\text{н.дв}} \quad (4.2)$$

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

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

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{нр} \geq 1.25 \cdot I_{н.дв} \quad (4.3)$$

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;

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

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1:

$$U_n = 380В \quad (4.4)$$

$$I_n = I_{н.дв.1} + I_{н.дв.2} + I_{н.дв.3} = 2.1 + 2.3 + 11.7 = 16.1 А. \quad (4.5)$$

$$I_{нр} = 16.1 \cdot 1.25 = 20.12 А. \quad (4.6)$$

Вибираємо автоматичний вимикач ІЕК ВА47-29 3п С 25А (рис. 4.4) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{нав} = 380В; I_{нав} = 20А;$$

$$25А > 20.12А;$$



Рис. 4.4. Загальний вигляд автоматичного вимикача ІЕК ВА47-29 3п С 25А

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF2:

Для вибору автоматичного вимикача QF2 треба провести розрахунки суми струмів схеми керування, отримуємо:

$$\sum I_n = 1.3 \text{ А} \quad (4.7)$$

Обираємо автоматичний вимикач Legrand TX³ В6, 6кА 1-п (рис. 4.5) наступними технічними характеристиками $U_{\text{нав}} = 230\text{В}$; $I_{\text{нав}} = 6 \text{ А}$.



Рис. 4.5. Загальний вигляд автоматичного вимикача Legrand TX³ В6, 6кА 1-п

4.2.3. Вибір диференціальних автоматичних вимикачів

Диференційний автоматичний вимикач забезпечує три види захисту: від ураження електричним струмом (завдяки реагуванню на витік струму), від перевантаження та від короткого замикання, запобігаючи пожежі.

Для вибору диференціального автоматичного вимикача QFD1 важливі технічні характеристики обраного мотор-редуктора ALK-75-533, згідно з технологічними вимогами.

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

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

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

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач Legrand 4P C 10A 3p + N (рис. 4.6) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{наб} = 380В; I_{наб} = 10А;$$

$$10А > 2.1А; 10А > 2.6А.$$



Рис. 4.6. Загальний вигляд диференціального автоматичного вимикача Legrand 4P C 10A 3p+N

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QFD2:

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

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

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

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

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач Legrand 4P C 10A 3p + N (рис. 4.6.) з наступними технічними характеристиками:

$$U_{наб} = 380В; I_{наб} = 10А;$$

$$10А > 2.33А; 10А > 2.91А.$$

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QFD3:

Згідно з технологічними умовами вибрано АІР 112М4 з такими технічними характеристиками:

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

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

$$U_{\text{н.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.}} = I_{\text{н,дв}} = 11,7 \text{ А}; I_{\text{н,р}} = 11,7 \cdot 1,25 = 14,63 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

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

$$U_{\text{нав}} = 380\text{В}; I_{\text{нав}} = 16\text{А}; \\ 16\text{А} > 11,7\text{А}; 16\text{А} > 14,63\text{А}.$$

4.2.4. Вибір електромагнітного пускача

Електромагнітні пускачі призначені для віддаленого запуску, зупинки та зміни напрямку обертання трьохфазних асинхронних двигунів. Крім того, вони можуть використовуватися для автоматичного управління електродвигунами та іншим електрообладнанням.

Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

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

$$U_{\text{нав}} \geq U_{\text{м}} \quad (4.7)$$

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

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

$$I_{\text{н.м.п}} \geq I_{\text{н.}} \quad (4.8)$$

- 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:

$$U_{\text{к.мп}} \geq U_{\text{кк}} \quad (4.9)$$

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. 4.7) із наступними технічними характеристиками:

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



Рис. 4.7. Загальний вигляд електромагнітного пускача КМІ-11010

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ3:

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

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

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

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ4:

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

Отже, здійснюємо вибір пускача електродвигуна. Вибираємо електромагнітний пускач КМІ-11810 (рис. 4.7.) із наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{н.с.м.}} = 380\text{В}; I_{\text{н.м.п.}} = 18\text{А}; 18\text{А} > 11,7\text{А};$$

4.2.5. Вибір теплових реле

Теплові реле забезпечують захист електродвигунів від перевантажень, використовуючи біметалічну пластину. При перевищенні допустимого струму, пластина нагрівається та вигинається, розмикаючи контакти та відключаючи двигун від мережі. Затримка в реакції біметалічної пластини дозволяє двигуну витримувати короткочасні перевантаження, наприклад, під час пуску. Також теплові реле реагують на обрив фази, оскільки це призводить до збільшення струму в інших фазах, що сприймається реле як перевантаження. Таким чином, теплові реле захищають двигун від пошкодження внаслідок тривалих перевантажень та дисбалансу струмів, викликаного обривом фази.

Теплові реле вибирають за умовами:

$$I_{\text{н.дв.}} \leq I_{\text{н.тр}} \quad (4.10)$$

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

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

$$1.2I_{\text{н.тр}} \leq I_{\text{ннтр}} \quad (4.11)$$

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

Вихідні дані для вибору теплового реле КК1

Згідно з технологічними умовами вибрано мотор-редуктор АLK-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. 4.8), струм не спрацювання 2.5-4А.



Рис. 4.8. 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 такими 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. 4.8), струм не спрацювання 2.5-4А.

Вихідні дані для вибору теплового реле КК3

Згідно з технологічними умовами вибрано АІР 112М4 із такими 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, струм не спрацювання 12-18А.

4.2.6. Вибір трипозиційного перемикача

Для визначення режиму керування системою автоматичного регулювання вологості в теплиці, обираємо трипозиційний перемикач ETI 04773132 CS 16 12 U (рис. 4.9) з такими основними характеристиками: максимальний струм $I_s=16A$; мінімальна напруга $U_s \geq 220V$.



Рис. 4.9. Загальний вид трипозиційного перемикача ETI 04773132 CS 16 12

4.1.7. Вибір реле контролю фаз

Реле контролю фаз забезпечує захист електрообладнання, контролюючи правильну послідовність фаз, наявність усіх трьох фаз та вимикаючи обладнання при виявленні перекосу фаз.

Для цих цілей обираємо реле контролю фаз РНм-3-25 (рис. 4.10) з такими 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. 4.10. Загальний вид реле контролю фаз РНм-3-25

4.2.8. Вибір блоку живлення

Модульний блок живлення Schneider ABL8MEM24006 24В 0,6А (рис. 4.11) є імпульсним джерелом живлення, що оптимально підходить для застосування в невеликих системах автоматичного керування зі споживаною потужністю до 15 Вт і напругою 24 В. Його форм-фактор та мінімальні розміри дозволяють встановлювати пристрій як на монтажну пластину, так і на DIN-рейку. Цей блок призначений для живлення графічної монохромної панелі оператора ПП-320 постійним струмом 24В.



Рис. 4.11. Загальний вид блоку живлення Schneider ABL8MEM24006 24В 0,6А.

4.2.9. Вибір частотного перетворювача

Обираємо частотний перетворювач Овен ПЧВ1,2 (рис. 4.12) для управління приводом вентилятора в теплиці з метою обміну повітря.

Основні функціональні можливості включають:

- Плавний запуск та зупинка двигуна, включаючи відкладений запуск та запуск під навантаженням за S-подібним характеристикою прискорення.
- Балансування навантаження та ковзання.
- Вольт-частотний або векторний алгоритми управління.
- Автоматична адаптація двигуна без обертання.
- Автоматична оптимізація енергоспоживання для досягнення найвищого рівня енергоефективності.
- Повна функціональна та апаратна діагностика та захист роботи частотного перетворювача.
- Вбудований мережевий дросель та дросель у ланці постійного струму.
- Вбудований ПІ-регулятор для управління в замкнутому контурі (для підтримки тиску, температури, рівня тощо).
- Гнучка структура управління з можливістю одночасного контролювання за фізичними входами та інтерфейсом RS-485, що забезпечує зручну інтеграцію у сучасні системи керування та диспетчеризації.



Рис. 4.12. Загальний вид частотного перетворювача Овен ПЧВ1, 2

4.3. Вибір проводів та кабелів

Електропроводка - це сукупність проводів і кабелів разом з відповідними кріпленнями та захисними конструкціями, які розташовані як ззовні, так і всередині елементів будівель чи споруд.

Довжину внутрішніх проводок слід мінімізувати. Переріз жили проводу/кабелю вибирається залежно від допустимого нагрівання та необхідної механічної міцності.

Для сільськогосподарських приміщень рекомендовані такі способи прокладання електропроводки: відкритий, схований та за допомогою кабелю.

При визначенні кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жилах багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлююча жила) не враховуються.

Площу поперечного перетину жил проводів, шнурів і кабелів вибирають згідно з тривало допустимим струмом.

$$I_{\text{пр.доп}} \geq I_{\text{роз}} \quad (4.12)$$

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

Для відгалужень до окремих електроспоживачів, що працюють протягом тривалого часу, використовують їх номінальні струми. Ці значення визначаються за певними формулами:

1) Для однофазних споживачів:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \quad (4.13)$$

2) Для трифазних споживачів:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \quad (4.14)$$

3) Для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \quad (4.15)$$

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

$$I_{м.роз} = K_0 \cdot \Sigma I_{ном(роз)} \quad (4.16)$$

де K_0 - коефіцієнт одночасної роботи споживачів енергії,

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

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М3:

АІР112М з наступними технічними характеристиками:

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

Розраховуємо струм двигуна згідно із умовою :

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 5.5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 85.7\% \cdot 0.83} = 11.75 \text{ А} \quad (4.17)$$

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М2:

Турбовент ВСХ 1100 з наступними технічними характеристиками:

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

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 0.75}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 75\% \cdot 0.83} = 1.83 \text{ А} \quad (4.18)$$

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М1:

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

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

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 0.5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 63\% \cdot 0.61} = 1.98 \text{ А} \quad (4.19)$$

$$I_{ном.заг.} = 11.75 + 1.83 + 1.98 = 15.56 \text{ А} \quad (4.20)$$

Згідно розрахунків обираємо п'ятижильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $2,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГнг (рис. 4.13).

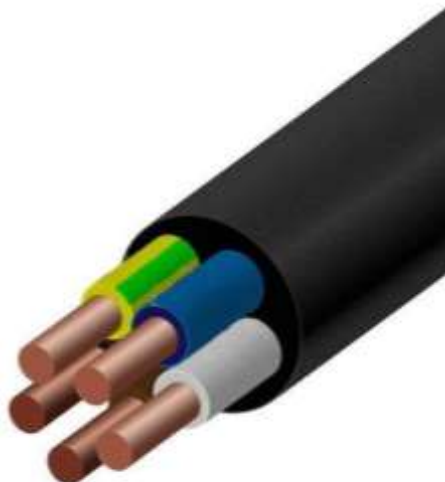


Рис. 4.13. Загальний вигляд кабелю ВВГнг 5х2,5

Для монтажу в електричному щиті використовується провід одного типу, який обирається з максимальним тривалим допустимим струмом 10 А. В даному випадку, обрано провід ПВ-1 1х0.5 з площею поперечного перерізу 0.5 мм² (рис. 4.14).

ПВ-1 є гнучким проводом підвищеної гнучкості, призначеним для монтажу, який передбачає вигини.



Рис. 4.14. Загальний вигляд кабелю ПВ-1 1х0.5

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

5.1. Розрахунок надійності, підвищення надійності електротехнічного обладнання

Працездатність системи автоматичного керування безпосередньо залежить від її надійності, яку визначають розрахунки, що прогнозують її здатність виконувати потрібні функції протягом заданого часу.

Головним фактором надійності є відмови. Вони можуть бути класифіковані наступним чином:

- Раптові;
- Технологічні;
- Зумовлені тривалістю роботи – здатність об'єкта тривати до досягнення граничного стану;
- Безвідмовність – здатність об'єкта функціонувати протягом певного часу;
- Граничний стан – стан, коли подальша експлуатація неможлива через неможливість виправлення порушень техніки безпеки;
- Пошкодження – порушення працездатності виробу під впливом зовнішніх чинників.

Реальна інтенсивність відмови системи становить:

$$\sum \lambda = 1/\text{год} \quad (5.1)$$

В табл. 5.1. наведена інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов елементів системи

Назва елемента	Кількість елементів, шт	Інтенсивність відмови - $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Результуюча інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/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 інтенсивність відмов кожного елемента.

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів:

$$\lambda = 38,373 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год} \quad (5.2)$$

Середній час безвідмовної роботи системи управління

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{38,373 \cdot 10^{-6}} = 26060 \text{ год.} \quad (5.3)$$

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

$$P_{рез}(t) = e^{-k \Sigma \lambda \cdot 10^4} \quad (5.4)$$

$$P_{рез}(10000) = e^{-1 \cdot 38,373 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,88 \quad (5.5)$$

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.

$$P_3(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \quad (5.6)$$

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

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

$$P_2(t) = e^{-1 \cdot (4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,161 + 7 \cdot 0,063 + 12 \cdot 0,25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 3,7 \quad (5.7)$$

$$P_1(t) = \frac{0,95}{3,7} = 0,256 \quad (5.8)$$

$$0,256 = 1 - (1 - e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})^m \quad (5.9)$$

$$m = \frac{\log(1-0,256)}{\log(1-e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})} \approx 2 \quad (5.10)$$

де $\lambda_1 = (3 \cdot 0,22 + 3 \cdot 0,4 + 0,1 + 2,5 + 6,93 + 2 \cdot 2,9 + 9 \cdot 0,88) = 25,11 \cdot 10^{-6}$, 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.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Економічне обґрунтування проекту

- Показники які охарактеризовують економічну ефективність:
- зниження витрат, які йдуть на застрайлу систему керування;
- використання корисної площі покриття теплиці;
- підвищення продуктивності праці;
- час за який відбувається окупність капіталовкладень;
- майбутній річний економічний ефект.

Ціни на комплектуючі технічні засоби занесені в таблицю. 6.1

Таблиця 6.1 - Ціни на комплектуючі технічні засоби

№	Назва обладнання	Тип	Кількість	Ціна/шт.
1	Контролер	ПЛК200-03-CS	1	16530
2	Графічна монохромна панель оператора	ІП320	1	5200
3	Турбовент	BCX 1100	1	17500
4	Протикраплинна розбірна форсунка		10	567
5	Насос високого тиску	НАWK NHD 1520 CR	3	15600
6	Датник лінійного переміщення	Celesco SP3	1	5450
7	Сигналізатор рівня	ОВЕН ПСУ-1	1	2000
8	Електродвигун	АІР 112М4	1	9400
9	Датник тиску	Овен ПД100-115	1	2329
10	Датник вологості повітря	Овен ПВТ100	1	4876

11	Автоматичний вимикач	ІЕК ВА47-29 3п С 25А	2	318
12	Автоматичний вимикач	Legrand ТХ ³ В6, 6кА 1-п	3	180
13	Автоматичний вимикач	Legrand 4Р С 10А 3р+N	3	410
14	Електромагнітний пускач	КМИ-11010	1	631
15	Теплового реле	NR2-10 2.5-4А	1	312
16	Перемикач ЕТІ	04773132 CS 16 12	1	400
17	Лампа сигнальна зелена	AD22-22DS 24 В	6	28
18	Резистор	2К - 0,25W ±1%	4	0.5
19	Реле контролю фаз	РНм-3-25	1	3128
20	Щит керування	R5CE0664 DKC	1	3750
21	Клемна збірка		3	90
22	Блок живлення Schneider	ABL8MEM24006 24В 0,6А	1	1567
	Всього			126060

Розрахуємо економічну ефективність впровадження САК.

Загальна вартість технічних засобів автоматизації становить:

$$K_3 = 126060 \text{ грн.}$$

Тоді:

Торгівельно - транспортні витрати становитимуть:

$$K_{т.т} = 0.11 \cdot K_3 = 0.11 \cdot 126060 = 13866.6 \text{ грн.}$$

Затрати на монтаж технічних засобів становить:

$$K_m = 0.17 \cdot K_3 = 0.17 \cdot 126060 = 21430.2 \text{ грн.} \quad (6.1)$$

Затрати на прокладення проводок:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot l = 8 \cdot 120 = 1440 \text{ грн}, \quad (6.2)$$

де $K_{\text{п}} = 8$ грн./м - вартість проводки з монтажем;

l - довжина проводки, $l = 1200$.

Інші капітальні витрати становитимуть 2% від загальної суми капітальних вкладень:

$$K_i = 0.02 \cdot 171\,479.40 = 3\,429.60 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати становитимуть:

$$K = K_z + K_i + K_{\text{т.т}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пр}}, \quad (6.3)$$

$$K = 126060 + 18\,862.74 + 29\,151.50 + 1440 + 3\,429.60 = 175864 \text{ грн.}$$

Знайдемо суму витрат на амортизацію після визначення суми капіталовкладень:

$$C_a = 0.142 \cdot K = 0.142 \cdot 175864 = 24972.68 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Поточний ремонт коштуватиме:

$$C_{\text{пр}} = 0.18 \cdot K = 0.18 \cdot 175864 = 31655.5 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Витрати на енергоресурси будуть становити:

$$C_e = P \cdot \Gamma \cdot 1.8 = 15 \cdot 6132 \cdot 1.8 = 165564 \text{ грн}, \quad (6.6)$$

де P - потужність = 15кВт,

Γ - кількість годин роботи = $365 \cdot 24 \cdot 0.7 = 6132$ год.

Системою експлуатації автоматизації керують два оператори, визначимо витрати на оплату їх праці:

$$C_z = 1 \cdot 8 \cdot 70 \cdot 300 = 168000 \text{ грн}, \quad (6.7)$$

де 1 - кількість операторів;

70 - грн. / год. - ставка оператора;

8 - години роботи на добу;

300 - кількість днів роботи на рік.

Тож, експлуатаційні витрати за рік становитимуть:

$$C = 24972,68 + 31655,5 + 165564 + 168000 = 390192,18 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

Розрахуємо основні показники економічної ефективності.

Знайдемо зведені витрати:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K = 126060 + 0,15 \cdot 175864 = 152439 \text{ грн}$$

Чистий прибуток визначається за формулою:

$$\text{Ч} = \Delta C_3 + \Delta C_e, \quad (6.9)$$

де ΔC_e - прибуток за рахунок економії електричної енергії;

$$\Delta C_3 = C_3 - (1,2 \cdot \Gamma \cdot 1,8) = 168000 - (1,2 \cdot 6132 \cdot 0,21) = 154754 \text{ грн,}$$

$$\Delta C_e = C_e - (P \cdot \Gamma \cdot 0,1 \cdot \Delta\Pi) = 3219 - (2,5 \cdot 6132 \cdot 0,1 \cdot 0,4) = 2606 \text{ грн,}$$

$\Delta\Pi = 0,4 = 40\%$ - час який економлять при автоматизації.

Тоді:

$$\text{Ч} = 154754 + 2606 = 157360 \text{ грн.}$$

Термін окупності установки визначається за формулою:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{Ч}} = \frac{175864}{157360} = 1,2 \text{ роки.} \quad (6.10)$$

Отримані розрахунки дають змогу побачити, що чистий прибуток дорівнює 157360 грн, а сама автоматизована система окупиться за 1.2 роки.

6.2. Перелік основних нормативних документів

1. Закон України «Про охорону праці». Постанова Верховної ради України від 14.11.92 №2695-ХІІ. Із змінами, внесеними згідно із Законами N 1331-IV (1331-15) від 25.11.2003, ВВР, 2004, N 14, ст.205, N 1344-IV (1344-15) від 27.11.2003, ВВР, 2004, N 17-18, ст.250, N 2285-IV (2285-15) від 23.12.2004, ВВР, 2005, N 7-8, ст.162, N 2505-IV (2505-15) від 25.03.2005, ВВР, 2005, N 17, N 18-19.

2. Закон України «Про пожежну безпеку». Постанова Верховної Ради України від 17.12.93 №3747-ХІІ.
3. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення». Постанова Верховної Ради України від 24 02.94.
4. ССБП ДСТУ 2293-93. “Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення“.
5. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.
6. Національний стандарт України. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (ІЕС 62305:2006, NEQ)
7. ДБН А 3.1-3-94. Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об’єктів.
8. ДБН В.2.5-27-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд
9. ДНАОП 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП «Фірма Гранмна», 2001. – 117 с.
10. ДНАОП 0.00-4.12-94. Типове положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 04.04.94 №30, зареєстровано в Мінюсті України 12.05.94 за №95/309.
11. ДНАОП 0.00-4.26-96. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Зареєстровано в Мін’юсті України 18.11.96 №667/1692. Введене в дію 29.11.96.

12. ДНАОП 0.03-3.30-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Зареєстровано в Мін'юсті України 29.08.96 №488/1513. Введене в дію 29.11.96.

13. Правила безпечної експлуатації електроустановок. ДНАОП 1.1.10-.01-97. Держнаглядохоронпраці України. – К.: Основа, 1997. – 265 с.

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00.1.21.-98. Держнаглядохоронпраці України.: – К.: Основа. 1998. – 380 с.

15. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).

16. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС).

Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006

№ 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 91 від 13.02.2012 та № 905 від 16.11.2012) Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 березня 2012 р. за № 350/20663.

17. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж Держенергонагляд України.: – К.: Дисконт. 1995. – 81с.

18. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.96 № 28 у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 № 910. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 листопада 2005 р. за № 1399/11679

19. Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці. Затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 №27.

20. НАПБ А.01.001.-95. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС України від 22.06.95 №400, зареєстровані в Мінюсті України 14.07.95 за №219/95.

21. Типове положення про службу охорони праці: затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 03.08.93 № 73, зареєстроване в Мін'юсті України 30.09.93 за № 140.

22. Положення про медичний огляд працівників певних категорій: затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 № 45, зареєстроване в Мінюсті України 21.06.94 за № 136/345.

23. Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, установах і організаціях: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 10.08.93 №623.

24. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями. ДНАОП 1.1.10-1.04.-01. Держенергонагляд України.: – К.: Форт, 2001. – 176 с.

25. Порядок надання домедичної допомоги постраждалим при ураженні електричним струмом та блискавкою. ЗАТВЕРДЖЕНО Наказ Міністерства охорони здоров'я України 16.06.2014 № 398. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 7 липня 2014 р. за № 775/25552

6.3. Аналіз стану безпеки праці на підприємстві

Дотримання норм охорони праці на робочому місці є обов'язковим і має відповідати чинним нормативним актам. Це забезпечує безпеку працівників та запобігає нещасним випадкам. На підприємстві необхідно вести відповідну документацію з охорони праці, зокрема журнали реєстрації інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки (з відмітками про видачу інструкцій), журнал обліку нещасних випадків та професійних захворювань, журнал реєстрації аварій, а також протоколи перевірки знань з охорони праці. Належне ведення цієї документації є важливою складовою забезпечення безпечних умов праці та підтвердженням виконання вимог законодавства.

Забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці на підприємстві — це першочерговий обов'язок роботодавця. Він відповідає за створення середовища, де ризики для здоров'я та безпеки працівників мінімізовані. До роботи допускаються виключно особи, які пройшли професійне навчання, вступний та первинний інструктажі з охорони праці, а також інструктаж з пожежної безпеки. Крім того, обов'язковою умовою є успішне проходження перевірки знань з охорони праці та пожежної безпеки, що підтверджує готовність працівника до безпечного виконання своїх обов'язків. Це гарантує дотримання норм безпеки та знижує ймовірність виникнення нещасних випадків на виробництві.

На підприємстві повинні бути впроваджені сучасні засоби техніки безпеки, що запобігають виробничому травматизму та забезпечують відповідні санітарно-гігієнічні умови для запобігання професійним захворюванням.

Працівники підприємства мають свої обов'язки:

1. Знати і виконувати вимоги нормативних актів з охорони праці, правила поведіння з машинами, механізмами, устаткуванням, а також вміти користуватися засобами колективного та індивідуального захисту.
2. Дотримуватися зобов'язань щодо норм охорони праці, передбачених

колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства, установи, організації.

Забезпечення безпеки праці спрямоване на створення здорових, безпечних та комфортних умов праці, що сприяє усуненню виробничих ризиків, зниженню травматизму та підвищенню продуктивності.

Правильне розташування та встановлення силового електрообладнання є важливим аспектом організації безпечного та ефективного робочого простору. Обладнання не повинно перешкоджати природному та штучному освітленню робочих місць, затуляючи світлові та віконні прорізи. Крім того, важливо забезпечити безперешкодний доступ до всіх поверхонь обладнання та навколишнього простору для проведення регулярного прибирання та дезінфекції, що є необхідною умовою для підтримки належного санітарно-гігієнічного стану та запобігання поширенню інфекцій.

Підходи до обладнання і робочих місць не повинні захоплюватися інвентарем і сторонніми предметами.

Нагрівальні пристрої повинні мати огороження, що виключає доступ персоналу до гарячих поверхонь.

Електроапаратура, встановлена на відкритих майданчиках, повинна бути захищена кожухами, які захищають від атмосферних впливів.

Робочі місця повинні бути атестовані відповідно до Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.92 № 442 (НПАОП 0.00-6.23-92).

6.4. Організаційні та технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виробничі умови впливають на здоров'я та працездатність людини через різні чинники. Небезпечні чинники можуть призвести до гострих захворювань або смерті,

тоді як шкідливі чинники негативно впливають на працездатність та можуть спричинити професійні захворювання.

Людський організм здатний адаптуватися до виробничих умов лише за умови, що вплив шкідливих та небезпечних чинників обмежений гранично допустимими нормами. Перевищення цих норм призводить до неможливості адаптації, порушення нормального функціонування організму та погіршення стану здоров'я. Тривалий вплив інтенсивних шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища значно збільшує ризик виникнення професійних захворювань та виробничого травматизму, що негативно позначається на працездатності та загальному добробуті працівників. Тому дотримання нормативних вимог щодо рівня впливу шкідливих та небезпечних чинників є критично важливим для збереження здоров'я та безпеки на робочому місці.

Шкідливі та небезпечні впливові фактори поділяються на чотири категорії: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Виробничі травми та професійні захворювання часто є наслідком впливу шкідливих та небезпечних чинників, таких як підвищений рівень шуму. Відбиття шуму від конструкцій та обладнання посилює його негативний вплив. Для зниження рівня шуму використовується акустична обробка приміщень звукопоглинальними матеріалами.

Організаційно-технічні заходи по боротьбі з шумом включають впровадження малощумного технологічного обладнання, дистанційне управління та використання раціональних режимів праці та відпочинку та інші методи.

Крім означених колективних заходів проти шуму, використовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Сюди входять протинавушники, що закривають слухову раковину ззовні, і протинавушні вставки, що закривають слуховий прохід. До ЗІЗ також відносяться протинавушні шоломи, що закривають голову, і маски, які використовуються разом з навушниками.

Заходи для захисту працюючих можна розділити на дві групи:

- засоби біологічного захисту від проникнення радіації;

- заходи запобігання забрудненню виробничого середовища, повітря, одягу та шкірного покриву людини.

Санітарно-гігієнічні вимоги передбачають такі заходи:

- радіаційне планування та оздоровлення приміщень;
- дистанційне управління й контролювання виробничого процесу;
- облаштування ефективної припливно-витяжної вентиляції;
- обладнання санпропускників із системою дозиметричного контролю;
- забезпечення відповідних ЗІЗ;
- відповідне зберігання і транспортування радіоактивних речовин та відходів.

Залежно від характеру роботи вдаються також і до організаційних заходів:

- надання дозиметричного наряду-допуску;
- дотримання санітарно-пропускного режиму;
- проведення інструктажів радіаційної безпеки;
- систематичний радіаційний контроль, його реєстрація та зберігання;
- попередні й періодичні медичні огляди (раз на рік);
- використання радіопротекторів, які підвищують стійкість організму до іонізуючого випромінювання.

6.5. Вибір індивідуальних засобів захисту

Процедура видачі засобів індивідуального захисту регламентується "Інструкцією про порядок забезпечення працівників та службовців спецодягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту", яка надається в установлені галузевими нормами (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1.

Відомості про забезпеченість персоналу підстанції електрозахисними засобами

Найменування	Марка	Одиниці вимірювання	К-сть
Штанга оперативна універсальна	ШОУ-10У1	шт.	6
Кліщі ізоляційні	К-1000	шт.	6
Показчик напруги	УНН-1	шт.	8
Кліщі вимірювальні	Ц-91	шт.	13
Монтажний інструмент з ізольованими ручками	КСН4-2	кОм	14
Рукавиці діелектричні		пар	14
Боти діелектричні		пар	14
Переносні заземлення 0,4 кВ		шт.	5
Килимок діелектричний 45х45 см		шт.	10
10. Плакати і знаки безпеки		шт.	15
11. Захисні окуляри	С-2	шт.	2
12. Переносні плакати та знаки безпеки	–	Комплект	2

ВИСНОВКИ

Дипломний проект презентує розроблену комп'ютерно-інтегровану систему автоматичного керування вологісним режимом у теплиці типу Venlo, призначену для оптимізації вирощування овочів протягом літнього періоду. В рамках проекту проведено детальний аналіз технологічної та електротехнічної складових системи, що дозволило всебічно оцінити її функціональність та ефективність. Для визначення якості та стійкості системи виконано комплексні розрахунки, які підтвердили її стабільну роботу та визначили час регулювання вологості на рівні 550 секунд. Завдяки впровадженню даної системи можливо досягти значного підвищення врожайності та якості овочів, а також оптимізувати використання ресурсів у тепличному господарстві.

Також були обрані технічні засоби для автоматизації системи керування і були розроблені наступні схеми:

1. Принципова електрична схема автоматизованої системи керування вологісним режимом у теплиці типу Venlo для вирощування овочів у літній період.
2. Електрична схема з'єднань системи керування вологісним режимом типу Venlo для вирощування овочів у літній період.
3. Електрична схема підключень системи керування вологісним режимом типу Venlo для вирощування овочів у літній період.

Була проведена оцінка надійності системи та виконано резервування для досягнення встановленого рівня надійності схеми. Після аналізу перехідних процесів були визначені такі показники якості, як час регулювання, коливальність, перерегулювання та статична похибка, які відповідають заданим значенням. З урахуванням вищезазначеного, ми можемо припустити, що система задовольняє технологічні вимоги, і, отже, її можна успішно використовувати на практиці.

Також було розраховано, що через 1.2 роки дана система себе окупить і буде приносити прибуток.

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. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. Друге видання, перероблене. / П. Ф. Гоголюк, Т. М. Гречин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.
3. Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Золотин Ю.П. «Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности». М. «Легкая и пищевая промышленность», 1983.
4. ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.
5. Палишкин Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение. М. Агропромиздат. 1990.
6. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. М.: Агропромиздат. 1986. 387 с.
7. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Единая система конструкторской документации.
8. Головінський Б. Л. Мікропроцесорна техніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Б. Л. Головінський, А. А. Руденський. – Київ: НАУ, 2005. – 50 с.
9. Головінський Б. Л. Теорія автоматичного управління / Б. Л. Головінський, Ю. В. Шуруб, В. П. Лисенко. – Київ: ВЦ НУБіП України, 2012. – 240 с.
10. Дифференциальное реле давления воздуха, дымового и отходящего газов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://empireltd.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/LGW_A4tech.pdf.
11. Ідентифікація і моделювання технологічних процесів / [В. П. Лисенко, Є. В. Чернишенко, В. М. Решетюк та ін.]. – Київ: АграрМедіа Груп, 2016. – 620 с.

12. Кашкар'ов А. О. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Комп'ютерно-інтегровані технології в електрифікації та автоматизації сільського господарства" / А. О. Кашкар'ов. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – 66 с.
13. Климентовський Ю. А. Технічні засоби автоматики / Ю. А. Климентовський, А. М. Гладкий. – Київ: Видавництво «КВІЦ», 2003. – 238 с.
14. Когутяк М. І. Основи комп'ютерно-інтервованого управління: практичні заняття / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 82 с.
15. Компактные универсальные контроллеры [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://empireltd.com.ua/wp-content/uploads/2018/05/siemens-rwf40-tech.pdf>.
16. Кушков В. М. Людино-машинні інтерфейси Конспект лекцій для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / В. М. Кушков. – Київ: НУХТ, 2012. – 100 с.
17. Лисенко В. П. Комп'ютерно-інтегровані технології. Основи MatLab. Навчальний посібник / В. П. Лисенко, В. О. Мірошник, В. М. Штепа. – Київ: НУБіП України, 2010. – 80 с.
18. Лисенко В. П. Методичні вказівки до розробки випускної бакалаврської роботи для студентів напрямку підготовки 6.050202 –«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / В. П. Лисенко, В. М. Решетюк, В. О. Мірошник. – Київ, 2014. – 128 с.
19. Лисенко В. П. Моделювання технологічних процесів / В. П. Лисенко, Б. В. Кузьменко, В. М. Решетюк. – Київ: Вища школа, 2010.
20. Лисенко В. П. Оптимальні системи автоматичного управління: Навчальне видання / В. П. Лисенко, Б. В. Кузьменко, Б. Л. Головінський. – Київ: НАУ, 2003. – 96 с.

21. Мартыненко И. И. Проектирование систем автоматики / И. И. Мартыненко, В. П. Лысенко. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 243 с.
22. Пастушенко В. Й. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №14-15 з дисципліни "Основи комп'ютерно-інтервованого управління" / В. Й. Пастушенко, А. М. Стеценко. – Рівне: НУВГП, 2014. – 51 с.
23. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С.Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Клюев. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
24. Цифрові системи керування / Б. Л.Головінський, Ю. В. Шуруб, А. О. Дудник, В. П. Лисенко. – Київ: ВЦ НУБіП України, 2016. – 108 с.
25. Що таке SCADA системи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://myscada.com.ua/ua/blog/chto-takoe-scada>.
26. CAN-PACK SA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.canpack.eu/?page_id=252&lang=en_us.
27. Контрольно-вимірювальні пристрої та засоби автоматизації ОВЕН [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://owen.ua/>.
28. Гареев А. Ф. Применение вероятностной нейронной сети для задачи классификации текстов / А. Ф. Гареев // Наука и образование. — М. : НиО, 2004.
29. — № 11. — С. 105-117.
30. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. — М. : Мир, 1985. — 509 с.
31. Гілля Л. С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Частина 1. Закритий ґрунт /Л. С. Гілля – Вінниця : Нова книга, 2008. — 364 с.