

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.008.ПЗ

на тему **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ В
ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КВІТІВ»**

Спеціальність:

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

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ І.М. Болбот, д.т.н., професор
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

_____ Ю.В. Кулаковський
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівники магістерської роботи

_____ А.А. Руденський, ст. викл.
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

_____ О.О. Опришко, к.т.н., доц.
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
О.О. Опришко
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Кулаковському Юрію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ В ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КВІТІВ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 року №1664«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

Вихідні дані кваліфікаційної магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики кваліфікаційної магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу вирощування квітів у теплиці як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження об'єкта автоматизації.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Економічна ефективність впровадження системи керування параметрами мікроклімату в теплиці.

Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року

Керівник магістерської роботи

(Підпис)

Руденський А.А.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Кулаковський Ю.В.
(Прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В магістерській роботі досліджується процес створення мікроклімату в промисловій блочній теплиці для вирощування квітів.

В роботі побудована математична модель розповсюдження повітряних потоків та проведені аналітичні дослідження процесів повітрообміну і тепломасообміну всередині робочого об'єму теплиці з системою забезпечення мікроклімату та без неї; проаналізовані алгоритмічні та структурні рішення, які враховують обмеження в системі керування, та досліджені можливість їх використання в типовій системі керування; на основі використаного аналізу, удосконалена система автоматичного керування параметрами мікроклімату в теплиці; обґрунтований вибір комплексу сучасних засобів автоматизації для реалізації САК та визначені показники якості роботи системи; проведений техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження результатів магістерської роботи.

ANNOTATION

In the master's work explores the process of creating a microclimate in industrial block a greenhouse for growing flowers.

In this paper, a mathematical model of the distribution of air flow and carried out analyzes of air and heat and mass transfer processes in the working volume with a system of greenhouse microclimate and without it; analyzed the algorithmic and structural solutions, taking into account the limits of the control system, investigated the possibility of their use in the standard control system; on the basis of the analysis improved SAC parameters of the microclimate in the greenhouse; selected range of modern technical means for the implementation of automation control systems and identify the quality of management performance; carried out technical and economic feasibility of implementing the calculation results of the master's work

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Аналіз технологічного процесу вирощування квітів у теплиці як об'єкта автоматизації	8
1.1 Вплив факторів навколишнього середовища на зростання і розвиток квітів у теплиці	8
1.2 Класифікація теплиць	14
1.3 Сучасні тепличні конструкції	16
1.4 Малооб'ємне вирощування культур в теплицях	18
1.5 Керування мікрокліматом в промислових блочних теплицях	22
1.6 Параметри мікроклімату при вирощування троянди	30
1.7 Мета і задачі магістерської роботи	31
2 Дослідження об'єкта автоматизації	33
2.1 Визначення методу дослідження	33
2.2 Математична модель динаміки забезпечення мікроклімату в теплиці	34
2.3 Визначення передатної функції об'єкта керування	48
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації керування параметрами мікроклімату в теплиці	51
3 Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	55
3.1 Визначення закону керування та розрахунок параметрів регулятора	55
3.2 Обґрунтування вибору сприймаючого елемента, регулюючого органу і виконавчого механізму САК температурним режимом в теплиці	65
4 Дослідження системи автоматизації	74
4.1 Дослідження САК температурним режимом в теплиці на стійкість	74
4.2 Визначення показників якості роботи системи керування	75
5 Схеми системи автоматизації	77
5.1 Розробка електричної принципової схеми керування параметрами мікроклімату в теплиці	77
5.2 Обґрунтування та вибір пуско-захисної апаратури	80
5.3 Вибір щитів та пультів	84
5.4 Обґрунтування та вибір проводок	86
5.5 Розробка схеми підключень	88
6 Економічна ефективність впровадження системи керування параметрами мікроклімату в теплиці	90
7 Техніка безпеки та охорона праці	95
7.1 Аналіз стану охорони праці в господарстві	95
7.2 Безпечність об'єкта проектування	98
7.3 Розрахунок заземлюючого пристрою	99
7.4 Блискавкозахист будівлі і споруд на об'єкті проектування	102
7.5 Система протипожежного захисту на об'єкті проектування	103
Висновки	105
Література	106

ВСТУП

З початком незалежності України з'явилися потужні тепличні підприємства з вирощування квітів, найбільшими з яких є "Асканія-Флора" з 22 га теплиць, "Украфлора" – 12 га та "Камелія" – 9 га.

Головні зрушення на вітчизняному квітковому ринку відбулися при вирощуванні червоних троянд. Господарство "Асканія-Флора" – це ціле містечко зі скла, де, вирощуючи елітні троянди, працюють понад 350 осіб. У теплицях компанії "Украфлори" за рік вирощують 18 мільйонів квітів. Саме компанії, оснащені сучасними технологіями, поєднуючи діяльність на внутрішньому ринку із постачаннями за кордон, найбільше сприяють розширенню сфери впливу вітчизняного бізнесу.

Один із нинішніх лідерів ринку – компанія "Камелія" – починала свою діяльність 1994 року з імпорту зрізаних квітів із Голландії та інших країн, пропонуючи місцевим споживачам рослини понад трьох тисяч найменувань. Далі компанія почала вкладати кошти не лише в розширення торгової мережі, а й у створення власного виробництва квітів. При цьому будуються нові виробничі потужності, розраховані не тільки на постачання продукції на внутрішній ринок, а й на експорт.

Створюють і розширюють власні виробництва також інші компанії, які починали свою діяльність із чистого імпорту квіткової продукції. Так, наприклад, Мукачівська фірма "Квіти Закарпаття" робить ставку на вирощування розсади однолітніх і багаторічних квітів, кімнатних рослин, львівська "Еліт флора" – на оптово-роздрібний продаж кімнатних, декоративних рослин, цибулин квітів, насіння і рослин відкритого ґрунту.

Працюють також більше 60-ти менших квіткових господарств з вирощуванням квітів у закритому ґрунті. Такі невеликі господарства, як правило, не можуть забезпечити цілорічне вирощування квітів і згортають роботу на зиму. Це стосується і тепличних господарств, що спеціалізуються

на вирощуванні цибулинних культур – тюльпанів, нарцисів і гіацинтів. Останні зазвичай продають до весняних свят, тому такі теплиці працюють лише з кінця зими і до літа.

За даними досліджень компанії "Украфлора", більшість українців купують квіти раз у три місяці (32%) або раз за півріччя (27%). При цьому не менше 70% всього продажу зрізаних квітів припадає на троянди, 15 – на гербери, 10% – на гвоздики.

Водночас зі збільшенням вітчизняного виробництва, зростанням попиту на квіткову продукцію та скороченням імпорту, українські виробники останнім часом стикнулися із серйозною проблемою – здороженням енергоносіїв, зокрема природного газу. В результаті доля енергоресурсів у собівартості продукції складає 40% і більше, а рентабельність тепличних господарств знизилася з 45-60% до 9-15%.

Ефективність тепличних господарств значною мірою залежить від запровадження сучасних технологій і менеджменту енергозбереження. Тому питання пошуку альтернативних джерел енергії та дійових організаційно-економічних заходів ефективного використання виробничих ресурсів і природно-кліматичних умов виробництва продукції закритого ґрунту є актуальними і своєчасними.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ КВІТІВ У ТЕПЛИЦІ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Вплив факторів навколишнього середовища на зростання і розвиток квітів у теплиці

Рослини, що вирощуються у теплиці, по своїй суті є живими організмами. На рослину в теплиці діє складний комплекс факторів, які можна умовно поділити на чотири групи:

- біотичні фактори (такі, що залежать тільки від рослини);
- абіотичні фактори (такі, що не залежать від рослини);
- географічний фактор;
- антропогенні фактори (зумовлені діяльністю людини).

Всі ці фактори можна зобразити у вигляді схеми (рис. 1.1).

Як видно зі схеми, температура, що діє на рослину у теплиці, відноситься до абіотичних факторів і складається з температури ґрунту та температури повітря. В сумі вони утворюють температурний режим культивацийної споруди.

Температура, яка є об'єктом керування даної роботи, є одним з найважливіших факторів. Вплив її зводиться до впливу на швидкість обміну речовин.

А для живих організмів, до яких відноситься рослини, ця швидкість реакцій залежить від активності ферментів, які мають свої температурні оптимуми. Відхилення від температурного оптимуму в бік збільшення або зменшення негативно відбивається на стані рослини, погіршує її ріст та розвиток. При надмірному перевищенні допустимих значень температури може призвести до загибелі рослини.

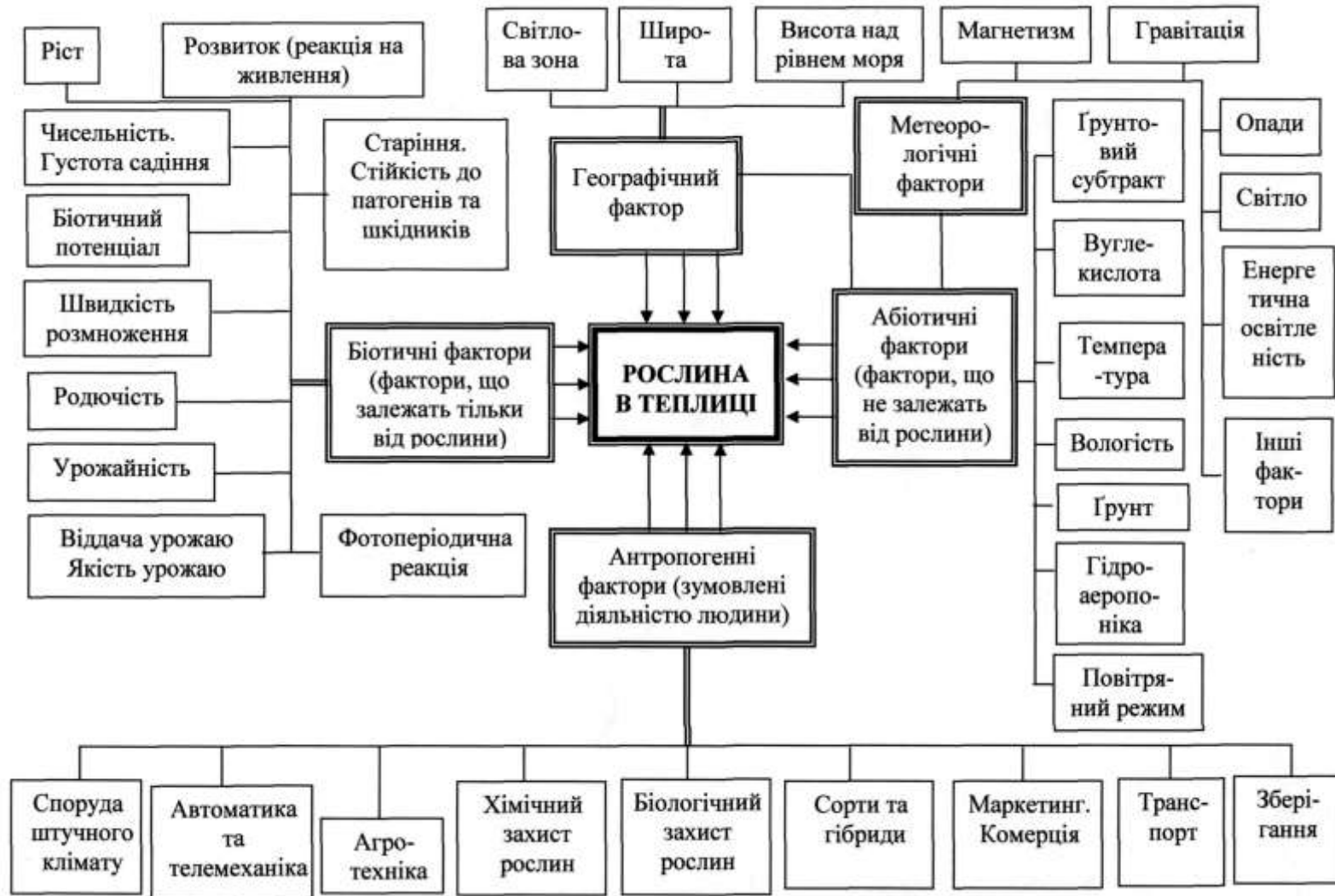


Рис. 1.1. Фактори, що впливають на рослину в теплиці

Розглянемо вплив різних мікрокліматичних факторів тепличного середовища більш детально.

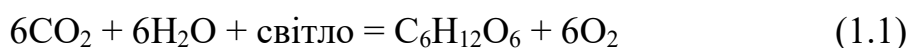
Температурний режим. Здатність кореневої системи засвоювати поживні речовини, інтенсивність фотосинтезу і дихання рослин, транспірація та інші фізіологічні процеси залежать від температури ґрунту і повітря. Температура, при якій рослини ростуть і розвиваються найбільш інтенсивно, є оптимальною. Відхилення від неї сповільнює ріст і розвиток рослин або згубно діє на них. Температура, нижче за яку ріст і розвиток припиняються, називається мінімальною, а та, вище за яку припиняються ті самі процеси – максимальною.

Оптимальна температура сприяє активному процесу фотосинтезу. Коливання її негативно впливає на ріст і розвиток рослин і часто призводить до ураження їх хворобами.

Вплив температури на ріст і розвиток рослин залежить також від їх стану та дії інших факторів. Так, з підвищенням інтенсивності сонячного освітлення при достатньому вмісті в ґрунті вологи і поживних речовин фотосинтез активніше відбувається при вищій температурі. При зменшенні освітлення активність фотосинтезу знижується. У процесі еволюції рослини пристосувалися до того, що вимоги їх до температури в темноті менші, ніж при освітленні. Це явище називається *термоперіодизмом*.

Вимогливість тепличних культур до тепла залежить від їх біології та географічного походження, сорту та умов вирощування.

Світловий режим. Роль світла у вирощуванні квітів є надзвичайно великою. Це пов'язано з тим, що всі складні процеси створення органічної речовини відбуваються в листках і черешках рослин за допомогою хлорофілу з простих речовин – води та вуглекислого газу за обов'язкової участі світла:



Цей процес дістав назву фотосинтез.

Рослини з червоно-фіолетовим забарвленням також у своїй надземній частині мають хлорофіл, але їх зелене забарвлення замасковане червоним

пігментом. Квітки і жовті листки на рослинах не мають хлорофілу, тому вони непридатні до фотосинтезу. В кореневій системі фотосинтез не відбувається, але вона відіграє основну роль у його діяльності як джерело води. Таким чином, фотосинтез може відбуватися лише за допомогою зеленого листового апарату, кореневої системи на світлі (вдень або при штучному освітленні).

Світлова енергія сонця надходить до рослин у вигляді прямої і розсіяної радіації. Пряма радіація потрапляє на верхні яруси листків. Розсіяна радіація є більш активною, бо сонячні промені, відбиваючись від часточок атмосфери і різних предметів, потрапляють не лише на верхні, а й на нижні яруси листя. В ясні сонячні дні на поверхню фунту надходить понад 20, а взимку - до 75% розсіяної радіації.

Значний вплив на ріст і розвиток рослин та їх фізіологічні процеси має спектральний склад світла. Найбільшу участь у фотосинтезі та фізіологічних процесах рослин бере *фотосинтетична активна радіація* (ФАР) з довжиною хвиль 380-720 нм. На її долю припадає близько 45-50% усієї радіації. Червоні (довжина хвилі 620-720 нм) й оранжеві (620-595 нм) промені є основним видом енергії для фотосинтезу (у рослинах нагромаджується більше вуглеводів). Сині та фіолетові промені (довжина хвиль 490-380 нм) беруть участь у нагромадженні білка, впливають на морфогенез і регулюють процеси переходу до утворення репродуктивних органів. Довгі ультрафіолетові промені (315-380 нм) запобігають витягуванню рослин і сприяють нагромадженню в них вітамінів, а середні ультрафіолетові (280-315 нм) — посилюють холодостійкість і сприяють гартуванню. Жовті і зелені промені (600-490 нм) найменш активні. У сонячні дні в розсіяній радіації переважають короткохвильові фіолетові й ультрафіолетові промені, а в хмарні - червоні та інфрачервоні.

Повітряно-газовий режим. Для нормальної життєдіяльності та плодоношення рослин постійно повинен бути обмін повітря. *Кисень* (у повітрі його 21%) потрібний для дихання рослин. У процесі дихання виділяється енергія, яка використовується для всіх фізіологічних процесів в

організмі. Кисень повинен бути доступним до всіх органів рослини (листіків, стебла і кореневої системи).

Азоту в повітрі 78%, і оскільки він є інертним газом, то не має прямого впливу на фізіологічні процеси у рослинах. Однак вміст його в ґрунті позитивно впливає на життєдіяльність мікрофлори (його добре фіксують бульбочкові бактерії бобових культур). Рослини використовують азот з ґрунту у вигляді мінеральних сполук.

Вуглекислий газ (CO_2) за допомогою хлорофілу під дією сонячної енергії перетворюється в рослинах на вуглеводи. Тому вміст вуглекислого газу в повітрі є однією з основних умов життєдіяльності рослинного організму. У повітрі міститься переважно 0,03% вуглекислого газу.

Використання CO_2 рослинами залежить від інтенсивності освітлення та вмісту його в атмосферному повітрі. Протягом доби вміст його в повітрі значно змінюється (завжди більше його в повітрі в ранкові години та в хмарну погоду). Цю закономірність слід враховувати при вирощуванні квітів у ґідропонних теплицях при підживленні вуглекислотою.

Швидкість газообміну є одним з основних факторів інтенсивного росту і розвитку рослин у спорудах закритого ґрунту. При застої повітря нестача або надмірний вміст CO_2 у спорудах знижує фотосинтез, а дуже повільне виділення водяної пари сповільнює транспірацію. У рослин за таких умов припиняється ріст, і вони пошкоджуються грибними хворобами. Найчастіше це спостерігається у зимовий період. Оптимальна швидкість повітря в спорудах закритого ґрунту становить 0,3-0,5 м/с. Щоб запобігти пошкодженню рослин помідора грибними хворобами, особливо у плівкових теплицях, бажано збільшити рух повітря над рослинами до 1,0-1,5 м/с. Для цього відкривають кватирки, фрамуги, двері, коли температура зовнішнього повітря піднімається до 16°C і вище.

Режим водо- та вологопостачання. Вода необхідна рослинам для розчинення мінеральних речовин і переміщення їх в організмі, а також для регулювання температури та транспірації. Вимогливість тепличних культур до вологи ґрунту і повітря залежить від їх біологічних особливостей, розвитку кореневої системи, морфологічної й анатомічної будови надземних органів (стебла, листка), температури ґрунту і повітря, інтенсивності сонячного освітлення, забезпечення поживними речовинами, сили вітру і вологості повітря.

В окремі фази росту навіть короточасна нестача вологи негативно позначається на рості та розвитку рослин. Такі періоди називають критичними. Одним з них є фаза проростання насіння. Нестача вологи в цей період призводить до затримання появи і навіть до загибелі сходів. Після появи сходів більшість рослин задовільно росте при помірному зволоженні ґрунту, однак під час інтенсивного росту вегетативних і продуктивних органів витрати води значно підвищуються.

Надмірний вміст вологи в ґрунті так само, як і її нестача, негативно позначається на рості та розвитку рослин. Так, при надмірному зволоженні змінюється співвідношення між рідкою і газоподібною фазами ґрунту, внаслідок чого коренева система терпить від нестачі кисню і загниває. Надмірна вологість призводить до загнивання листків та поширення грибних хвороб.

Вимоги рослин до вмісту поживних речовин у ґрунті. При низьких температурах теплолюбні культури засвоюють поживні речовини значно гірше, ніж холодостійкі. Для одержання високого врожаю з незначними затратами праці та коштів, тепличні культури треба вирощувати на ґрунтах із високою родючістю (або субстратах з додатковим мінеральним живленням у гідропонних теплицях).

Середньодобовий винос поживних речовин на одиницю врожаю залежить від тривалості вегетаційного періоду культури (сорту), типу ґрунту, його родючості тощо. На винос поживних речовин із ґрунту овочевими

культурами великий вплив має розвиток їх кореневої системи і її здатність засвоювати поживні речовини. Чим більше вона розвинена і займає більший об'єм ґрунту, тим краще вбирає з нього елементи живлення та воду. Слід також брати до уваги і здатність рослин до засвоєння ними солей з важкорозчинних фосфорних сполук.

Ріст і розвиток рослин відбувається нормально, якщо в ґрунті є достатня кількість усіх елементів живлення. Нестача одного з них послаблює дію інших.

1.2 Класифікація теплиць

Усі діючі нині теплиці і ті, що споруджують, умовно можна поділити (класифікувати) за такими ознаками.

За способом обігріву споруди закритого ґрунту можна поділити на дві групи: зимові – зі штучним опаленням; весняні – з обігрівом за рахунок сонячної радіації чи біологічного палива.

Дуже часто у весняних теплицях передбачається додаткове опалення (трубне водяне, повітряно-калориферне, підземний електропідігрів).

За об'ємно-планувальним рішенням теплиці поділяють на: ангарні – односекційні; блочні – багатосекційні, що з'єднуються в одне приміщення.

Блоки теплиць створюють блокуванням ангарних теплиць у блоки (рис. 1.2). Блок теплиць – самостійний, технологічно замкнений комплекс будівель і споруд у складі тепличного господарства. Нині діють планувальні рішення теплично-овочевих комбінатів площею 6, 12, 18, 24, 30, 36, 50га і більше.

За конструктивними особливостями теплиці можуть бути: каркасними; безкаркасними із самонесучими огорожувальними конструкціями.

Залежно від матеріалу, з якого виготовлені деталі несучого каркасу, теплиці бувають: із сталі полегшених профілів; із холоднокатаної сталі; із гарячекатаних профілів; дерев'яні; дерево-металеві; алюмінієві; із полімерних матеріалів; збірного залізобетону тощо.

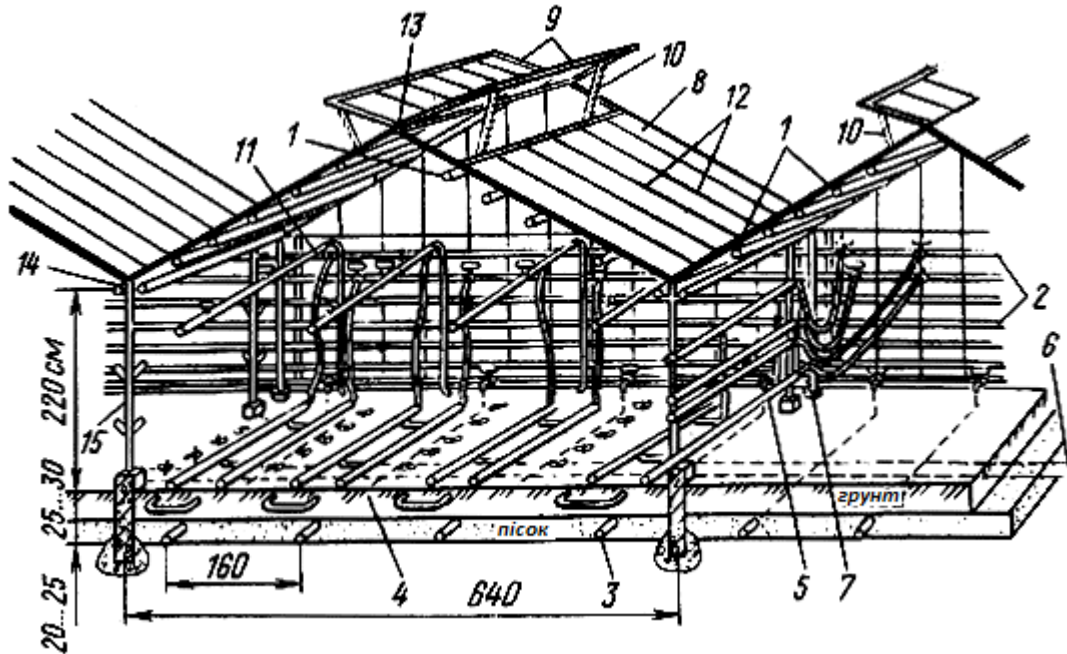


Рис. 1.2. Конструкція ґрунтової теплиці блочного типу
(типовий проект 810-39.94)

1 – обігрів шатровий; 2 – обігрів боковий; 3 – обігрів підґрунтовий; 4, 5 – обігрів надґрунтовий; 6 – ґрунтовий дренаж; 7 – водосток; 8 – покрівля; 9 – вентиляційні фрамуги; 10 – рейка; 11 – зрошувач; 12 – шпроси; 13 – коньковий брус; 14 – водосток; 15 – стійка

За типом огорожувальних конструкцій теплиці можуть бути: скляні; плівкові; пластикові (наприклад, лексан термоклір).

Конструктивно огороження може бути різним і за формою, і кількістю шарів.

За функціональним призначенням теплиці бувають: овочевими, розсадними, квітковими, селекційними, садовими (для садоводів-любителів)

Розсадні теплиці використовують з метою вирощування розсади для овочівництва у відкритому ґрунті.

За технологією вирощування рослин теплиці можуть бути: ґрунтові з вирощуванням культур на ґрунті (ґрунтосуміші), гідропонні – з

вирощуванням культур на різного роду заміниках ґрунтів – субстратах (середовище для росту рослин, що не складається з ґрунтів).

Таку класифікацію можна продовжити з менш значними ознаками і обсягами їх будівництва, наприклад, по зонах будівництва (для північних і південних широт, для країн зі суховіями), за світловими зонами, а також залежно від інших кліматичних умов. Наприклад, є побудовані теплиці у ґрунті в зоні вічної мерзлоти. Є приклади багатопверхових теплиць круглої форми, які повільно повертаються навколо своєї осі, тощо.

1.3 Сучасні тепличні конструкції

На сьогоднішній день на вітчизняному ринку конструкцій промислових теплиць блочного типу вибір зводиться до наступних варіантів:

- блочні теплиці, побудовані за радянських часів за типовими проектами 810-73, 810-99, 810-1-13.86 та ін.;
- теплиці закордонного виробництва із металевими несучими конструкціями та скляним покриттям (широкий модельний ряд власних промислових, фермерських та індивідуальних теплиць різної базової площини та структури: від 14 до 10000м², а на їх основі – тепличних блоків практично будь-якої площини та конфігурації, промислових блочних теплиць з шириною прольоту 6,4м; 8,0м; 9,6м; 21,0м та ін.);
- бувші у використанні імпортні теплиці;
- плівкові теплиці.

Одним з популярних серед імпортних конструкцій є теплиці типу "Venlo" з прольотом 9,6м, планувальною сіткою 9,6х4,0м та висотою колон 4,5м (рис. 1.3). На одному прольоті такої теплиці розташовуються три дахових конька. Така теплиця пропонується як універсальна для виробників як овочевої, так і квіткової продукції.

Планувальна сітка колон каркасу теплиці 9,6х4м оптимально поєднує як можливості по забезпеченню необхідного просторового маневру у шатровому об'ємі культивацийної споруди при розміщенні обладнання інженерно-технологічних систем і рослин, так і умови для максимального зниження металоємності споруди.

Планувальна сітка колон каркасу з'єднувального коридору складає 6,4х4м, що узгоджується із сіткою опор теплиці, і забезпечує технологічні вимоги до розміщення інженерного обладнання в коридорі.

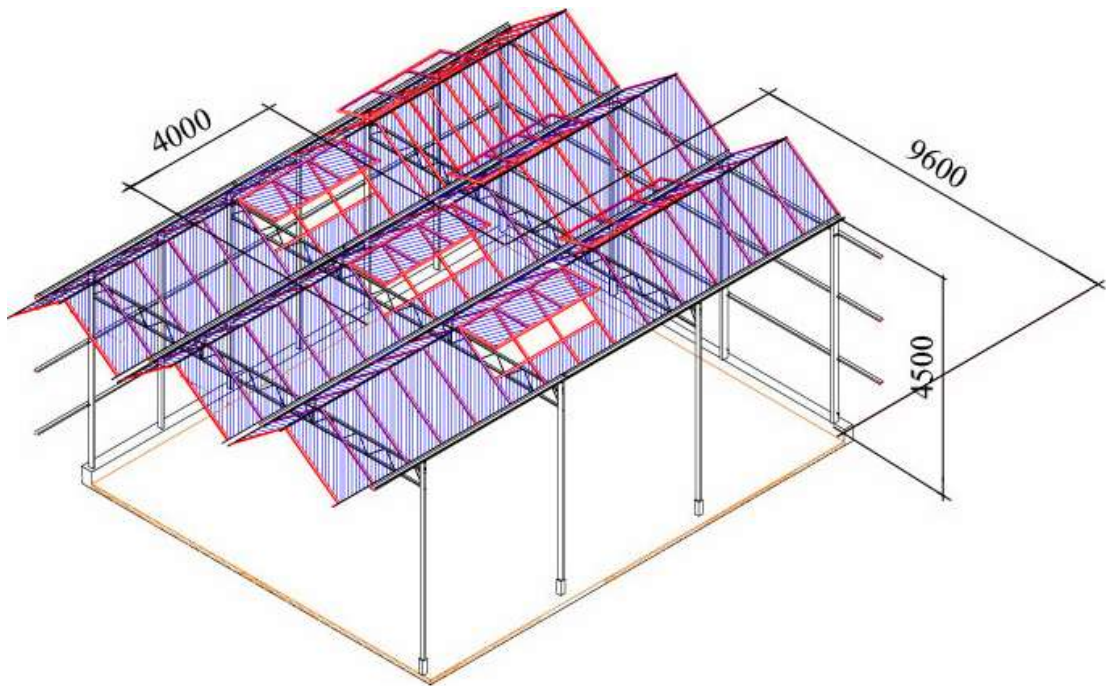


Рис. 1.3. Габаритні розміри секції блочної теплиці типу "Venlo" з планувальною сіткою 9,6х4,0м та висотою колон 4,5м

Конструкція несучого каркасу теплиці та з'єднувальних коридорів складається із колон, ферм, лотків, прогонів, розкосів, тяг, з'єднувальних та елементів кріплення:

- колони – закритий профіль 110х70х3мм. Висота колон 4,0м;
- ферми – конструкція решітчаста із закритого профілю 80х50х3мм;
- прогони – відкритий сталевий профіль 90х45х3мм;
- лотки для збирання дощової і талої води – 175х90х3мм.

Усі основні конструкції несучого каркасу теплиці та з'єднувального коридору виготовляються із сталевих профілів методом холодного перегину та мають оцинковане покриття товщиною ≥ 80 мкр.

Конструкції огороження теплиці та з'єднувального коридору складаються з алюмінієвих спеціальних вертикальних, горизонтальних, цокольних та покрівельних шпросів, форточок та дверей, з'єднувальних деталей, елементів кріплення, метизів.

У складі конструкцій огороження передбачаються також резинові, стійкі до різного виду атмосферних впливів, профілі для ущільнення стиків скла та шпросів.

Форточки розміром 3000x1000мм (при ширині скла покрівлі 1000мм) або 3200x1000мм (при ширині скла покрівлі 800мм) виконані з алюмінієвих профілів та розташовуються по кожному коньку теплиці у шаховому порядку по одній на кожен крок колон каркасу: праві та ліві.

Загальна площа форточних прорізів складає 25% від площі теплиці.

Спеціальний алюмінієвий профіль огороження виконаний під подвійне скління бокової та торцевої поверхні та одинарне скління покрівлі склом товщиною 4мм. У складі конструкцій огороження теплиці та коридору передбачаються також резинові профілі для ущільнення скла.

1.4 Малооб'ємне вирощування культур в теплицях

Вирощування квіткових та овочевих культур на малооб'ємних субстратах в останнє десятиріччя отримало широке розповсюдження в усьому світі.

Основною причиною такого широкого розповсюдження цієї технології є висока економічна ефективність як за рахунок підвищення врожайності, так і значної економії ресурсів.

Культивування квітів та овочів без використання ґрунту має ряд значних переваг. На відміну від традиційних технологій абсолютно виключене використання будь-яких сільськогосподарських машин, необхідних для обробки ґрунту, і, як наслідок, самих цих агротехнічних елементів. Практично відсутня необхідність в суворій послідовності зміни культур, а також захисті рослин від бур'янів. При старанному дотриманні санітарії, безґрунтова культура дозволяє відмовитися від використання хімічних засобів захисту від шкідників і хвороб, тобто підвищити якість та біологічну чистоту продукції. Більша частина операцій, пов'язаних з доглядом за рослинами, в тому числі внесення добрив і зрошення, при цій технології є автоматизованою. Все це дозволяє полегшити умови праці персоналу та більш економічно використовувати трудові ресурси, якісно змінити характер сільськогосподарської праці. Економічність витрат води дозволяє використовувати цю технологію навіть в посушливих районах.

Крім того, при безґрунтовій культурі:

- відсутні звичайні при традиційному вирощуванні культур проблем, пов'язаних з кислотністю та агрохімічним складом ґрунту. Створюється можливість використання для різних культур однакових видів добрив;
- не виникає проблеми недостатньої кількості добрив або їх передозування. Рослини живуть в умовах стабільного середовища, що легко контролюється. Аналіз розчину проводиться набагато легше і точніше, ніж аналіз ґрунту;
- зникає багато проблем із ґрунтовими шкідниками і хворобами (нематоди, ведмідки, сциариди, грибкові захворювання, гнилі і т.д.), що позбавляє від використання отрутохімікатів;
- забезпечується можливість компенсації несприятливих кліматичних умов у широких межах;
- рослина зростає міцною і здоровою, і набагато швидше, ніж на ґрунті, оскільки отримує всі поживні речовини в необхідній кількості та

суворих пропорціях. При цьому цвітіння декоративних рослин значно зростає.

Існує багато субстратів для малооб'ємної технології, найкращим з яких є спеціальна мінеральна вата для рослинництва. Касети для вирощування розсади – необхідний елемент гідропонної технології.

Рослини висаджують у спеціальні пакети ємністю до 30 л кожний, заповнені субстратом, у кількості, що залежить від виду (квіти або овочі), агрономічних вимог та технології. В пакет підводиться індивідуальна крапельниця. Цілорічний крапельний полив здійснюється за спеціальною схемою (через визначені інтервали). Схема коректується в залежності від реакцій рослин.

Строк окупності технології малооб'ємного вирощування складає 1-2 роки в залежності від культури.

Крапельне зрошення. На відміну від традиційних способів зрошення, коли зволожується вся площа, при крапельному зрошенні ґрунт зволожується у вигляді смуги. Розміри смуги зволоження (ширина і глибина) визначаються схемою висіву, водно-фізичними властивостями та передполивною вологістю ґрунту, розміщенням поливних трубопроводів відносно рядків рослин, фазою їх розвитку, величиною поливної норми.

Висока ефективність мікрозрошення сприяла тому, що за порівняно невеликий період (близько 30 років) значно розширився видовий склад культур, що вирощуються за даною технологією.

Як правило, введення крапельного поливу в тепличних господарствах супроводжується переходом на малооб'ємну технологію вирощування. В ґрунтових теплицях крапельне зрошення практично не дає прибавки урожаю, але разом з тим, дозволяє економити на воді та оплаті праці робітників.

Переваги крапельного зрошення над традиційним поливом (дождювання або полив по бороздам):

- економія води в 2-5 рази. Ефективність зрошення досягає 85-90%, оскільки вода потрапляє безпосередньо в кореневу систему рослини;

- забезпечення оптимальних витрат води та добрив відповідно до фізіологічних потреб рослини на основі створення сприятливого водного та поживного режиму ґрунту;
- підвищення врожайності зрошуваних культур на 30-50% та підвищення якості продукції;
- зменшення витрат мінеральних добрив за рахунок внесення їх з водою безпосередньо до кореневої системи;
- скорочення засобів захисту рослин внаслідок зменшення кількості бур'янів (земля між рядками залишається сухою) і ураження хворобами (при традиційних системах зрошення листя і стебло рослини є вологими);
- зниження експлуатаційних витрат порівняно з енерговитратами інших способів зрошення на 50-70%;
- зниження вимог до дренажних систем;
- можливість використання мінералізованих вод, що неможливо використовувати при інших методах поливу;
- зменшення трудових витрат на будівництво, експлуатацію та технічне обслуговування систем мікрозрошення завдяки високій заводській готовності вузлів та повній автоматизації управління процесом поливу.

Зручно використовувати системи крапельного зрошення для одночасного проведення поливу та внесення добрив – *фертигації*, що підвищує коефіцієнт їх використання в середньому на 25-30% і знижує загальне використання добрив на 20-40%. Фертигація передбачає підтримання оптимальної концентрації елементів живлення в ґрунтовому розчині на протязі всього періоду вегетації рослин. Така фертигація дозволяє виключити у рослини появу сольового стресу.

В загальному випадку система крапельного поливу складається з: джерела води (свердловини, накопичувальні ємності і т.д.); насосної установки; системи підготовки води (очищення від домішок, пом'якшення та ін.); системи фертигації; розподільчої мережі; капілярів та крапельниць;

системи промивки розподільчої мережі; дренажної системи; пристроїв автоматичного контролю та регулювання поливу.

При виборі системи крапельного зрошення особливу увагу слід приділяти якості самих крапельниць, віддаючи перевагу крапельницям із самоочищенням, із захистом від внутрішнього забруднення.

1.5 Керування мікрокліматом в промислових блочних теплицях

Сучасні технології вирощування розсади, квітів та овочів потребують постійного підтримання визначених режимів мікроклімату в теплицях.

Автоматизація системи управління мікрокліматом в захищеному ґрунті дозволяє економити 15-20% тепла при підвищенні врожайності, покращенні умов праці та загальної культури виробництва.

Сучасна зимова теплиця як об'єкт управління такими параметрами мікроклімату, як температура та вологість, характеризується незадовільною динамікою та нестабільністю параметрів в залежності від особливостей технології виробництва. У той же час агротехнічні норми потребують високої точності стабілізації температури ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), своєчасної її зміни в залежності від рівня фотосинтетично активного випромінювання, фази розвитку рослини та часу доби. Всі ці обставини висувають високі вимоги до функціонування та технічній довершеності обладнання автоматизації управління мікрокліматом в теплицях.

Самі сучасні та професійні системи характеризуються такими параметрами:

- забезпечують в теплиці контроль опалення, вентиляції, зволоження і охолодження, рівня CO_2 , циркуляції повітря, додаткового освітлення;

- управляють зашторюванням, системою очищення даху, пальниками опалювальних котлів, зрошенням та внесенням добрив, дезінфекцією дренажної води і рециркуляцією води в системі зрошення. Сбір та обробка даних виконується за допомогою центрального комп'ютера із передбаченою можливістю резервного копіювання даних;
- контроль усіх параметрів в теплиці може здійснюватись з одного операторського робочого місця, оснащеного комп'ютером;
- мають високу гнучкість та масштабованість. Можуть використовуватись в будь-яких теплицях, в різних конфігураціях. Для кожного проекту складається індивідуальний набір апаратного і програмного забезпечення;
- зручність монтажу та технічного обслуговування;
- можливість організації декількох дублюючих робочих місць, а також віддаленого управління теплицею через мережу Інтернет.

Система опалення блочної теплиці

Найбільш поширена з існуючих систем опалення теплиць – *трубна*, теплоносієм в якій є гаряча вода. Рівномірності температурного поля досягають розподілом і розміщенням труб обігріву по периметру всередині теплиці у відповідних зонах (*підлотковий, верхній (шатровий), нижній (основний) технологічний обігрів*), в підґрунтовому або підкореновому середовищі, та встановленням у верхній частині теплиці додаткових вентиляторів невеликої потужності для створення руху повітря з технологічно допустимою швидкістю. Додатковим засобом є влаштування бокового огородження із поліетиленової плівки або горизонтальної штори паралельно покрівельному огородженню всередині теплиці.

Призначення контурів обігріву:

- *контур підлоткового обігріву* (рис. 1.4) розташовується у площині верхніх горизонтальних конструкцій і призначений для

попередження утворення намерзання на склі даху теплиці та танення снігу у верхніх жолобах;

- *контур верхнього технологічного обігріву* (шатровий) призначений для регулювання температурного режиму у верхній частині теплиці для виключення проникнення холодного повітря в зону рослин при різкому зниженні температури навколишнього середовища та відкривання шторного екрану;

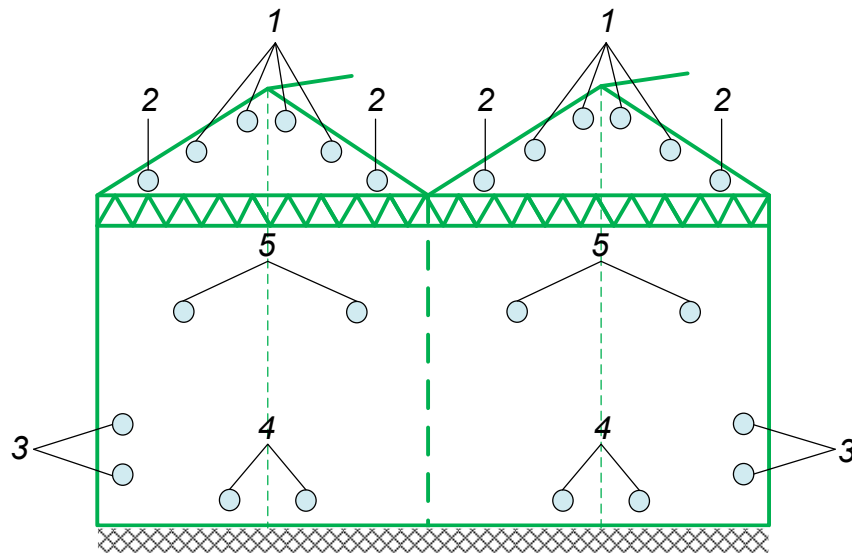


Рис. 1.4. Переріз секцій теплиці блочного типу

1 – підпокрівельний обігрів; 2 – підлотковий обігрів; 3 – торцевий обігрів; 4 – контур нижнього технологічного обігріву; 5 – контур верхнього технологічного обігріву

- *контур нижнього технологічного обігріву* – основний регулюючий контур для створення теплового режиму в зоні росту рослини. Використовується також в якості направляючих конструкцій при переміщенні возиків для збору продукції;

Вузол управління розміщується в з'єднувальному коридорі і складається зі змішувальних клапанів, циркуляційних насосів, трубопроводів і арматури. Контурні системи обігріву працюють в автоматичному режимі від датчиків температури.

Системи обігріву виконуються зі сталевих труб $\text{Ø}51 \times 2,5$. Нагрівні труби систем підлоткового та нижнього обігріву приєднуються до розподільчих трубопроводів за допомогою резино-тканинових рукавів. На

підводах встановлюється запірна арматура. Нагрівні труби системи верхнього обігріву приєднуються до розподільчих трубопроводів за допомогою сталевих труб без запірної арматури.

Гаряча вода з розрахунковими параметрами 115-70°C подається від котельної.

Для опалення теплиці площею 3га використовуються два котли Viessmann Vitomax 200 з пальниками потужністю 3 Гкал/год. кожний (рис. 1.5).

Котел, пальник і вся система опалення спроектовані спеціально для теплиці. Конструкція первинної камери згорання пальника забезпечує низький викид NO та CO, що дозволяє подавати вихідні гази до теплиці для підживлення рослин CO₂. У випускній системі котла встановлюється конденсор димових газів (економайзер), який використовується для охолодження вихідних димових газів з 120 до 50-60°C. Вихідні гази – CO₂ – відбирають безпосередньо у конденсора і направляють безпосередньо до рослин, що дозволяє отримати додаткове тепло для опалення внутрішнього простору теплиці.

Система *підживлення вуглекислим газом* призначена для збагачення внутрішнього робочого простору теплиці двоокисом водню (CO₂) для стимуляції процесу фотосинтезу і акселерації вегетативного розвитку рослин.

В умовах осінньо-зимово-весняної світлокультури тривалістю 18-19 годин на добу вуглекислотне підживлення збільшує коефіцієнт корисної дії фотосинтезу за рахунок вироблення більшої кількості вуглеводів. В період досвічування фрамуги зазвичай закриті, повітрообмін незначний, тому кількість CO₂ в повітрі теплиці різко знижується. ККД фотосинтезу при цьому також різко зменшується. У весняно-літній та осінній періоди додаткове внесення вуглекислоти також сприяє зростанню врожайності і якості продукції, навіть при відкритих форточках. Так, наприклад, підживлення CO₂ підвищує у троянди розмір бутона, довжину пагонів та кількість зрізання приблизно на 30%.



Рис. 1.5. Котли Viessmann Vitomax 200 для опалення блочної теплиці з системою відбору CO₂ для підживлення рослин

Система контролю положення фрамуг (вентиляції) теплиці тісно пов'язана з системою контролю тепла. На розрахункове положення фрамуг впливають: розрахункова температура в теплиці; поточне значення температури в теплиці; температура назовні теплиці; швидкість руху повітря; напрямок руху повітря; рівень CO₂ в повітрі теплиці.

При морозі та шквальних поривах вітру (умови задаються користувачем) фрамуги зачиняються автоматично.

У блочній теплиці типу "Venlo" вентиляція здійснюється через фрамуги, розташовані по конькам даху в шаховому порядку. Загальна площа вентиляційних прорізів у даху складає 22,5% від площі теплиці. Кут відкриття фрамуг складає 46°.

Система відкриття фрамуг (рис. 1.6) "пушпульна" з приводом від молор-редукторів та рейкових редукторів.

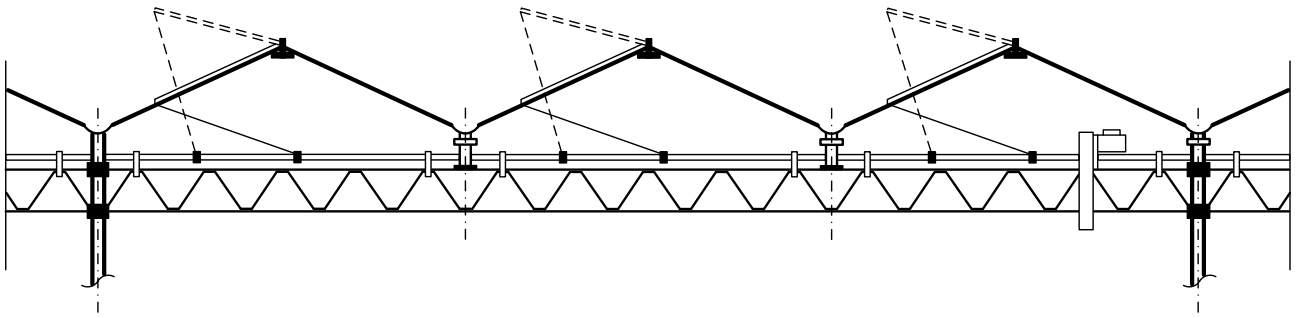


Рис. 1.6. Система відкриття фрамуг

Система випарувального охолодження та зволоження повітря призначена для штучного зниження температури повітря в теплиці на 5-7°C нижче температури навколишнього середовища за рахунок поглинання тепла при випаровуванні мілкодисперсної вологи, що подається в об'єм теплиці. При правильно спроектованій системі повітряних потоків та завдяки властивості "миттєвого випаровування" туману, система може гарантувати ефективне охолодження та зволоження влітку, а в зимовий час – зволоження та попередження дегідратації рослин. Це забезпечує ефективне та послідовне управління кліматом без надлишкової конденсації вологи на рослині.

Система випарувального охолодження передбачена по зонам, кожна зона обслуговується одним електромагнітним клапаном.

Температура листя та квітів влітку зазвичай на 2-7°C вище температури повітря в теплицях.

Туманоутворюючі форсунки (фоггери) розпилюють воду до частинок діаметром менше 1000 мікрон, що не призводить до утворення крапельної вологи на листі рослин. Використання таких форсунок дозволяє не тільки ефективно знижувати температуру листя за рахунок випаровування вологи з їх поверхні, але й економить енергію, що витрачається рослиною на випаровування води для охолодження листя.

Система зашторювання призначена для запобігання перегрівання повітря в середині теплиці в періоди зі збитковою сонячною радіацією шляхом затінювання, а також для зниження втрат тепла – в холодні періоди,

створення більш рівномірного та сприятливого для рослин температурного поля.

Матеріал екрану найчастіше являє собою тканину з поліестеру із вплетеними смугами алюмінієвої фольги. Матеріал розрахований на тривалу експлуатацію, дозволяє без пошкоджень багаторазово зсувати та розсувати екран, при цьому зсунений екран має мінімальні розміри, що дає мінімум затінювання.

Існує декілька типів вузькоспеціалізованих екранів:

- *Енергозберігаючий.* Дає максимальне утримання тепла при мінімальній втраті світла. Використовується в теплицях, що розташовані в зонах з холодним кліматом.

- *Утворюючий тінь.* Алюмінієві смуги в тканині екрану забезпечують необхідний рівень відбивання сонячних променів. При цьому гаряче повітря проходить знизу через тканину вгору. Використовується в спекотному кліматі, для посилення ефекту використовується комбінація з декількох екранів.

- *Комбінований (енергозберігаючий та утворюючий тінь).* При яскравому сонячному випромінюванні відбиває надлишкове тепло. При зниженні температури утримує тепло, знижує ризик конденсації вологи на рослинах, економить енергію. Комбінований екран найчастіше використовується в сучасних теплицях.

- *Затемнюючий.* Використовується при вирощуванні рослин, що потребують додаткового періоду спокою. Двошарова структура екрану може давати до 85% і більше затемнення, створювати "штучну ніч", бувають різновиди з алюмінієвим або білим верхнім шаром для відбивання сонячних променів та білим внутрішнім шаром.

- *Світлоповертаючий.* Використовується для утримування штучного світла в середині тепличного простору, що збільшує ефект від роботи асиміляційного освітлення та перешкоджає надлишковій освітленості

оточуючого середовища. Спеціальна вогнестійка структура тканини дозволяє волозі та теплу проходити, але затримувати світло.

Крім того, екрани бувають *горизонтальними* (верхніми) та *вертикальними* (боковими).

Екран приводиться в рух механізмом зашторювання, його можна відкривати та закривати, зупиняючи в будь-якому кінцевому або проміжному положенні, в залежності від зовнішніх погодних умов та потреб культури, що вирощується. Конструкція механізму зашторювання забезпечує пересування всіх секцій екрану одночасно в усіх прольотах відділеннях теплиці.

Існують два способи приведення в рух екрану: за допомогою *рейкової передачі* та за допомогою *стальних тросів* (рис. 1.7).

При рейковому приводі редуктор механічно пов'язаний з рейковими редукторами з ходом рейки, що дорівнює відстані від ферми до ферми. При тросовому приводі мотор редуктор обертає вал, на який намотується трос і тягне за собою полотно секцій екрану, відкриваючи або закриваючи його. Найчастіше використовують тросовий привод.



а)

б)

Рис. 1.7. Механізм приведення в рух екрану

а – за допомогою рейкової передачі; б – за допомогою стальних тросів

Практично всі сучасні теплиці передбачають можливість встановлення стандартних систем горизонтального зашторювання. В той же

час, в старих теплицях встановлення екрану може бути ускладнене або взагалі неможливе.

Використовується найчастіше централізоване управління системою зашторювання від єдиної системи автоматичного управління теплицею. Для підтримання необхідного рівня освітленості, температури та вологості, економії тепла, комп'ютер на основі заданої стратегії управління та зовнішніх факторів розраховує необхідне положення екранів окремо в кожному відділенні, і подає команди на відповідні мотори-редуктори.

1.6 Параметри мікроклімату при вирощування троянди

Троянда (*Rosa L.*), культурна форма рослин роду роза родини трояндових (дикорослі – шипшина), кущі до 2м заввишки.

В Україні поширені декоративні сорти троянди: ремонтантні (Никитська рожева, Українка, Катерина, Фрау Карл Дружкі, Ульріх Бруннер), чайно-гібридні (Веснянка, Наталка, Червона Україна, Фрейбург 2), пернеціянські (Вільгельм Кордес, Кабардинка, Віль де Парі), поліантові (Зоя Космодем'янська, Глорія Мунді, Кучерява), чайні (Артек, Маруся, Переможець, Батьківщина), виткі (Рубін, Ексцельза, Біла Дороті) та ін.

Температурний режим:

- нічна температура 17-18°C;

- денна температура 19-20°C.

Вологість повітря 70-75%.

Влітку температура бутонів та листя значно вища за температуру повітря теплиці. Підвищення вологості досягається освіжувальним розпиленням води 0,6-0,7л/м².

Поливна вода з РН6,2-7,8 нейтралізується кислотами (азотна, артофосфорна).

Живильні розчини (субстрат, віджимання, дренаж) аналізуються а агрохімічній лабораторії та коригуються в залежності від пори року. Концентрація солей в субстраті контролюється за допомогою дренажування (промивка робочим розчином).

Концентрація вуглекислого газу (CO_2) – в теплиці 0,05-0,06%, або 600-700 ppm.

Співвідношення калію та кальцію - влітку 6:5 моль/л, зимою 5:6 моль/л.

Досвічування (жовтень-квітень) здійснюється лампами "Рефлекс" 70 Вт/м², що закріплені на висоті 1,3-1,5 м від лотка. Світловий день – 19 годин на добу при рівні освітленості 5000-6500 люкс.

1.7 Мета і задачі магістерської роботи

Автоматизація технологічних процесів у захищеному ґрунті різко скорочує витрати праці і собівартість продукції, підвищує енергооснащеність праці, поліпшує умови праці персоналу і підвищує загальну культуру виробництва.

Об'єктом дослідження є процес створення мікроклімату в промисловій блочній теплиці для вирощування квітів

Предметом дослідження є вплив трубної системи опалення на динамічні властивості теплиці як об'єкта керування

Метою магістерської роботи є наукове обґрунтування і розробка удосконалених систем забезпечення мікроклімату в теплиці та створення методики їх розрахунку

Задачі магістерської роботи:

– побудувати математичну модель розповсюдження повітряних потоків та провести аналітичні дослідження процесів повітрообміну і

тепломасообміну всередині робочого об'єму теплиці з системою забезпечення мікроклімату та без неї;

- проаналізувати алгоритмічні та структурні рішення, які враховують обмеження в системі керування, та дослідити можливість їх використання в типовій системі керування;

- на основі використаного аналізу, удосконалити систему автоматичного регулювання показників мікроклімату в теплиці

- обґрунтувати вибір комплексу сучасних засобів автоматизації для реалізації САК та розрахувати показники якості роботи системи

- провести техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження результатів магістерської роботи

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Визначення методу дослідження

В ході роботи над досліджуваною тематикою було використано імітаційне моделювання мікрокліматичних процесів на ЕОМ в програмному середовищі MathCAD та MATLAB-Simulink.

Імітаційне моделювання засноване на прямому описі моделюючого об'єкта. Істотною характеристикою таких моделей є структурна подібність об'єкта й моделі. Це значить, що кожному важливому з погляду розв'язуваного завдання елементу об'єкта ставиться у відповідність елемент моделі. При побудові імітаційної моделі описуються закони функціонування кожного елемента об'єкта й зв'язку між ними, тобто імітаційному моделюванню функціонування об'єктів, процесів або систем описується набором алгоритмів. Алгоритми імітують реальні елементарні явища, що становлять процес або систему зі збереженням їхньої логічної структури й послідовності протікання в часі. Імітаційне моделювання дозволяє за вихідним даними одержати відомості про стани процесу або системи в певні моменти часу.

Імітаційні математичні моделі - це алгоритмічні моделі, що відображають розвиток процесу (поводження досліджуваного об'єкта) у часі при заданих зовнішніх впливах на процес (об'єкт).

Робота з імітаційною моделлю полягає в проведенні імітаційного експерименту. Процес, що протікає в моделі в ході експерименту, подібний до процесу в реальному об'єкті. Тому дослідження об'єкта на його імітаційній моделі зводиться до вивчення характеристик процесу, що протікає в ході експерименту.

Імітаційна модель - це реалізований на ЕОМ обчислювальний експеримент з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів або систем.

Цінною якістю імітації є можливість управляти масштабом часу. Динамічний процес в імітаційній моделі протікає в так званому системному часі. Системний час імітує реальний час. При цьому перебіг системного часу в моделі можна виконувати двома способами. Перший спосіб полягає в «русі» за часом з деяким постійним кроком. Другий спосіб полягає в «русі» за часом від події до події, при цьому вважається, що в проміжках часу між подіями моделі змін не відбувається.

Імітаційне моделювання є частинним випадком математичного моделювання. У зв'язку з цим використовується аналітична форма опису моделі та допускаються деякі спрощення несуттєвих моментів.

2.2 Математична модель динаміки забезпечення мікроклімату в теплиці

Математична модель динаміки системи трубно-водяного опалення шатра теплиці, як системи автоматичного керування тепловим режимом теплиці.

В якості нагрівальних приладів в системах водяного опалення для реалізації заданих значень температури повітря в теплицях використовують сталеві труби, реєстри, змішувачі (які виготовляють з труб діаметром 50, 75 і 100 мм і мають питому поверхню 0,24 – 0,35 м² на погонний метр). В зимових теплицях, як правило одночасно відбувається обігрів ґрунту (субстрату) і шатра не зв'язаними одна з одною системами трубного опалення.

Прилади опалення шатра теплиць, які експлуатують на протязі року розміщують: у верхній зоні (опалення стелі), в середній зоні (бокове і торцеве опалення), у нижній зоні (надґрунтове опалення). Для забезпечення рівномірного обігріву внутрішнього повітря теплиці необхідно в зону висотою 1 метр від поверхні ґрунту подавати не менш, як 40% загальної кількості теплоти включаючи теплоту обігріву ґрунту (субстрату). Запірна і регулююча арматура повинна забезпечувати окреме (роздільне) вмикання і вимикання та регулювання тепловіддачі приладів опалення розміщених у всіх трьох зонах шатра теплиці.

При математичному описі системи трубно-водяного опалення повітряного об'єму теплиці (шатра), як ланки системи автоматичного регулювання температури повітря необхідно встановити динамічну залежність температури води в системі трубного опалення і температури повітря в теплиці (в зоні дії приладів опалення від теплової потужності системи і температури теплоносія).

В основу робочої моделі покладено такі посилання:

- культиваційна споруда розглядається як певний площинний простір, заповнений повітрям з однорідними властивостями, яке добре переміщується (випадок однорідного температурного поля);
- цей простір обмежено з одного боку поверхнею ґрунту або субстрату з розчином, з іншого світлопрозорим укриттям (огородженням);
- система повітряного опалення, що складається з металевих труб з циркулюючим водяним теплоносієм, які розміщені рівномірно в об'ємі теплиці і обмінюються теплотою шляхом конвекції і випромінювання, при цьому коефіцієнт зовнішнього теплообміну визначається сумою конвективної і радіаційної складових теплового потоку;
- допускаємо що теплофізичні характеристики теплоносія і контактуючих середовищ (повітря, ґрунт, огороження, рослинний покрив) не залежать від часу і температури.

Рівняння динаміки тепло- і масообміну теплиці складаємо на основі теплового балансу елементів системи повітряного обігріву для параметрів:

теплоносія (вода)

$$m_w \cdot c_w \cdot \frac{dt_{w2}}{d\tau} = G_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2}) - \alpha_e \cdot f_e \cdot (t_{w2} - \theta_{mp}) \quad (2.1)$$

реєстру труб

$$m_{mp} \cdot c_{mp} \cdot \frac{d\theta_{mp}}{d\tau} = \alpha_e \cdot f_e \cdot (t_{w2} - \theta_{mp}) - \alpha'_n \cdot f_n \cdot (\theta_{mp} - t_{uu}) \quad (2.2)$$

повітря шатра

$$(m_v \cdot c_p + m_p \cdot c_p + m_c \cdot c_c) \cdot \frac{dt_{uu}}{d\tau} = \alpha'_n \cdot f_n \cdot (\theta_{mp} - t_{uu}) - \alpha_{zp} \cdot f_{zp} \cdot (t_{uu} - \theta_{zp}) - K_0 \cdot f_0 \cdot (t_{uu} - t_z) \quad (2.3)$$

Де $m_w \cdot c_w$, $m_{mp} \cdot c_{mp}$, $m_v \cdot c_p$, $m_p \cdot c_p$, $m_c \cdot c_c$ - теплова ємність відповідно води в реєстрі, труб опалення, повітря, рослин, прозорого огороження ($Дж/°C$); G_w - витрати води в реєстрах, ($кг/с$); $\alpha_e, \alpha'_n, \alpha_{zp}, \alpha_e$ - коефіцієнт тепловіддачі відповідно від води до внутрішньої поверхні труби, від труби до повітря, від повітря до рослини, ($Вт/м^2 \cdot °C$); K_0 - коефіцієнт теплопередачі крізь огороження, ($Вт/м^2$); $t_{w1}, t_{w2}, \theta_{mp}, \theta_{zp}, t_z, t_{uu}$ - температура води на вході і на виході з реєстру, труби, поверхні субстрату, зовнішнього середовища, повітря шатра (осереднене значення), ($°C$).

Можливість представити об'єм шатра теплиці як однорідну ємність ґрунтується на тому що нагрів і охолодження огороження, рослинної маси і повітря проходить одночасно, так як більша частина теплової потужності від системи опалення поступає від системи опалення у вигляді теплового опромінення, тобто нагріває безпосередньо рослинну масу і огороження. В той час як прогрівання повітря загальмовано витратами теплоти на інфільтрацію, а також внаслідок теплообміну із огороженням, рослинами і ґрунтом. При цьому прийнято кількість рослинної маси 2 кг/м^2 , а теплова ємність шатра визначається як:

$$m_{uu} \cdot c_{uu} = (m_v \cdot c_p + m_p \cdot c_p + m_c \cdot c_c)$$

Коефіцієнт теплообміну α' є сумарним коефіцієнтом тепловіддачі конвекцією і випромінювання $\alpha' = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda}$, де коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначається співвідношенням:

$$\alpha_{\lambda} = G_0 \cdot E_{np} \left(\left(\frac{\theta_{\text{тр}} \cdot \theta_{\text{зр}} \cdot \theta_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_c \cdot \theta_{\text{зр}} \cdot \theta_p}{100} \right)^4 \right) \cdot \psi_{\text{сп}}$$

де $\psi_{\text{сп}} = \frac{F_1}{F_2}$ - відношення площі рослин до площі огороження.

Для зниження порядку системи рівнянь прийємо швидкість змінення температури труби і води в ній однакова, тоді з рівняння (2.1) для сталого режиму визначимо t_{w2} :

$$t_{w2} = m' \cdot t_{w1} - n' \cdot \theta_{mp} \quad (2.4)$$

$$\text{де } m' = \frac{G_w \cdot c_w}{G_w \cdot c_w + \alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}, \quad n' = \frac{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}{G_w \cdot c_w + \alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}$$

підставимо його значення в рівняння (2.2) і після перетворень отримаємо:

$$\frac{m_{mp} \cdot c_{mp} + m_w \cdot c_w}{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}} \cdot \frac{d\theta_{mp}}{d\tau} = (m' \cdot t_{w1} - (1 - n')) \cdot \theta_{mp} + \frac{\alpha_n \cdot f_n}{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}} \cdot t_{uu} \quad (2.5)$$

Рівняння (2.3) перепишемо у вигляді:

$$\frac{m_v \cdot c_v + m_p \cdot c_p + m_c \cdot c_c}{\alpha_n \cdot f_n} \cdot \frac{dt_{uu}}{d\tau} = \theta_{mp} \cdot \frac{K_0 \cdot f_0 \cdot t_3 + \alpha_{\text{зр}} \cdot f_{\text{зр}} \cdot \theta_{\text{зр}}}{\alpha_n \cdot f_n} - \frac{\alpha_n \cdot f_n + K_0 \cdot f_0 + \alpha_{\text{зр}} \cdot \theta_{\text{зр}}}{\alpha_n \cdot f_n} \quad (2.6)$$

Введемо позначення:

$$a_1 = \frac{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}{\alpha_n \cdot f_n} \cdot m' \cdot t_{w1}; \quad b_1 = 1 + \frac{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}{\alpha_n \cdot f_n} \cdot (1 - n'); \quad a_2 = \frac{K_0 \cdot f_0 \cdot t_3 + \alpha_{\text{зр}} \cdot f_{\text{зр}} \cdot \theta_{\text{зр}}}{\alpha_n \cdot f_n};$$

$$b_2 = \frac{\alpha_n \cdot f_n + K_0 \cdot f_0 + \alpha_{\text{зр}} \cdot \theta_{\text{зр}}}{\alpha_n \cdot f_n}; \quad T_{\text{тр}} = \frac{m_{mp} \cdot c_{mp} + m_w \cdot c_w}{\alpha_n \cdot f_n}; \quad T_{uu} = \frac{m_v \cdot c_v + m_p \cdot c_p + m_c \cdot c_c}{\alpha_{\epsilon} \cdot f_{\epsilon}}$$

З урахуванням прийнятих позначень запишемо рівняння (2.5) і (2.6) у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{mp} \cdot \frac{d\theta_{mp}}{d\tau} = a_1 - b_1 \cdot \theta_{mp} + t_{uu} \end{array} \right. \quad (2.7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{uu} \cdot \frac{dt_{uu}}{d\tau} = a_2 - b_2 \cdot t_{uu} + \theta_{mp} \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Визначивши з рівняння (2.7) температуру t_u і похідну від неї $\frac{dt_u}{d\tau}$ підставимо їх значення в рівняння (2.8) після перетворень отримаємо рівняння змінення температури трубного реєстру:

$$T_u \cdot T_{mp} \cdot \frac{d^2\theta_{mp}}{d\tau^2} + (T_u \cdot b_1 + T_{mp} \cdot b_2) \cdot \frac{d\theta_{mp}}{d\tau} + (b_1 \cdot b_2 - 1) \cdot \theta_{mp} = a_2 + a_1 \cdot b_2 \quad (2.9)$$

Аналогічно з розв'язку рівнянь (2.7) і (2.8) отримаємо рівняння змінення температури повітря в шатрі:

$$T_u \cdot T_{mp} \cdot \frac{d^2t_u}{d\tau^2} + (T_u \cdot b_1 + T_{mp} \cdot b_2) \cdot \frac{dt_u}{d\tau} + (b_1 \cdot b_2 - 1) \cdot \theta_{mp} = a_1 + a_2 \cdot b_1 \quad (2.10)$$

Рівняння (2.9) і (2.10) мають однакову структуру і відповідно однотипне рішення. Позначимо:

$$A = T_u \cdot T_{mp}; \quad B = T_u \cdot b_1 + T_{mp} \cdot b_2; \quad C = b_1 \cdot b_2 - 1;$$

$$D_1 = a_1 + a_2 \cdot b_1; \quad D_2 = a_2 + a_1 \cdot b_2;$$

Розв'язок неоднорідних диференціальних рівнянь шукаємо у вигляді суми рівнянь: однорідного і частинного:

$$\theta_{mp}(\tau) = c_1 \cdot e^{r_1 \cdot \tau} + c_2 \cdot e^{r_2 \cdot \tau} + \frac{D_2}{C} \quad (2.11)$$

$$\text{де } r_1, r_2 - \text{ корені характеристичного рівняння } r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

c_1, c_2 - сталі інтегрування.

Величини сталих інтегрування визначимо з початкових умов: $\tau = 0$, $\theta_{mp} = \theta_0$, $\frac{d\theta_{mp}}{d\tau} = 0$, де θ_0 - початкове значення температури труби.

Підставляючи ці значення в рівняння (2.11) отримаємо:

$$\begin{cases} \theta_0 = c_1 + c_2 + \frac{D_2}{C} \\ 0 = c_1 \cdot r_1 + c_2 \cdot r_2 \end{cases}$$

$$\text{Звідки } c_1 = -r_2 \frac{\theta_0 \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)}; \quad c_2 = r_1 \frac{\theta_0 \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)}$$

Підставляємо значення c_1 і c_2 в рівняння (2.11) після спрощень будемо мати:

$$\theta_{mp}(\tau) = \frac{\theta_0 \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_2}{C} \quad (2.12)$$

Аналогічним чином отримуємо рівняння, що описує змінення осередненої температури повітря в шатрі:

$$t_u(\tau) = \frac{t_0 \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_1}{C} \quad (2.13)$$

Математична модель динаміки калориферного опалення шатра теплиці

Величина поверхні трубних реєстрів водяного опалення шатра теплиці, як правило, визначається з умов повної компенсації теплових витрат при розрахунковій величині температури атмосферного повітря. Тому для компенсації теплових витрат температури нижчих від регламентованих значень зовнішньої температури доцільно використовувати підключення додаткових джерел обігріву якими можуть бути теплогенератори або калорифери обігріву в тому числі і електричні. Крім того, при регулюванні температури теплоносія, реакція системи на змінення температури розтягнута в часі (біля 1.2 – 2 годин) внаслідок значної протяжності трубної системи. Для підвищення гнучкості системи опалення необхідно застосовувати мало інерційні системи нагрівання повітря.

Таким чином для теплиць, які експлуатуються на протязі всього року перспективними є комбіновані системи обігріву.

При використанні додаткового повітряного обігріву засобами калориферного нагріву повітря (з використанням електричних нагрівальних елементів) прийнята наступна розрахункова схема теплового балансу: при виникненні пікових навантажень температура повітря шатра змінюється і для компенсації не врахованих втрат теплоти вмикається калорифер. Циркулююче в об'ємі теплиці повітря вентилятором подається в калорифер. Кількість теплоти, яка вноситься повітрям в об'єм камери калорифера і

кількість теплоти отриманої від поверхні нагрівальних елементів (парові, водяні труби) витрачається на підвищення тепловмісту повітря в об'ємі камери і виноситься з калорифера в об'єм теплиці.

При цьому приймемо, що повітря в теплиці при струміневій подачі рівномірно переміщується з повітрям нагрітим трубними реєстрами водяного опалення. Температура повітря на вході в теплицю дорівнює температурі повітря на виході шатра, а температура повітря на вході в калорифер дорівнює температурі шатра, тобто $t_{ex} = t_{in}$, $t_{вих.ш} = t_{in} - \Delta$.

Виходячи з розрахункової схеми процесу нагріву повітря і спрощуючих припущень рівняння теплового балансу для елементів опалення мають вигляд:

для повітря в калорифері

$$m_k \cdot c_k \cdot \frac{dt_k}{d\tau} = G_v \cdot c_p \cdot (t_n - t_k) + P_n \quad (2.14)$$

для повітряного обміну шатра теплиці

$$m_n \cdot c_p \cdot \frac{dt_{in}}{d\tau} = G_v \cdot c_p \cdot (t_n - t_k) + K_0 \cdot F_0 \cdot (t_{in} - t_3) \quad (2.15)$$

де $m_k \cdot c_k$, $m_n \cdot c_p$ - відповідно теплова ємність калорифера, повітря теплиці ($Дж/^\circ C$); G_v - подача повітря через калорифер, ($кг/с$); P_n - теплова потужність нагрівачів, ($Вт$); K_0 - коефіцієнт теплопередачі огороження ($Вт/м^2 \cdot ^\circ C$); F_0 - площа поверхні огороження, ($м^2$); t_3 - температура зовнішнього повітря, ($^\circ C$).

Вводимо такі умовні позначення:

$$T_k = \frac{m_k \cdot c_k}{G_v \cdot c_p}; \quad T_n = \frac{m_n \cdot c_p}{G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot K_0 \cdot F_0}; \quad K_1 = \frac{G_v \cdot c_p + 0.5 \cdot K_0 \cdot F_0}{G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot K_0 \cdot F_0};$$

$$K_2 = \frac{K_0 \cdot F_0 \cdot t_3}{G_v \cdot c_p - 0.5 \cdot K_0 \cdot F_0}; \quad P_k = \frac{P_n}{G_v \cdot c_p};$$

Враховуючі введені позначення, вхідна система рівнянь набуває такого вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_k \cdot \frac{dt_k}{d\tau} = t_n - t_k - P_k \end{array} \right. \quad (2.16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_n \cdot \frac{dt_n}{d\tau} = t_k - K_1 \cdot t_k - K_2 \end{array} \right. \quad (2.17)$$

Визначивши з рівняння (2.17) величину t_k і його похідну $\frac{dt_k}{d\tau}$ підставимо отримані значення в рівняння (2.16) і після перетворень отримаємо рівняння:

$$T_k \cdot T_n \cdot \frac{d^2 t_n}{d\tau^2} + (T_k \cdot K_1 + T_n) \frac{dt_n}{d\tau} + (K_1 - 1) \cdot t_n = P_k + K_2 \quad (2.18)$$

Виводячи позначення сталих величин рівняння (2.18)

$$A = T_k \cdot T_n; \quad B = T_k \cdot K_1 + T_n; \quad C = K_1 - 1; \quad D_1 = P_k + K_2$$

отримаємо розв'язок неоднорідного диференційного рівняння (2.18) у вигляді:

$$t_n(\tau) = c_1 \cdot e^{r_1 \tau} + c_2 \cdot e^{r_2 \tau} + \frac{D_1}{C} \quad (2.19)$$

де r_1, r_2 - корені характеристичного рівняння $r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$

c_1, c_2 - сталі інтегрування.

Величини сталих інтегрування визначимо з початкових умов: $\tau = 0$, $t_n = t_{n0}$, $\frac{dt_n}{d\tau} = 0$, де t_{n0} - початкове значення температури повітря.

Підставляючи ці значення в рівняння (2.19) отримаємо:

Звідки:

$$c_1 = -\frac{r_2}{r_1 - r_2} \cdot \left(t_{n0} - \frac{D_1}{C} \right); \quad c_2 = \frac{r_1}{r_1 - r_2} \cdot \left(t_{n0} - \frac{D_1}{C} \right) \quad (2.20)$$

З урахуванням значень c_1 , c_2 рівняння (2.19) перетвориться до вигляду:

$$t_n(\tau) = \frac{t_{n0} \cdot C - D_1}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_1}{C} \quad (2.21)$$

Підставляючи значення величини t_n і її похідну $\frac{dt_n}{d\tau}$ з рівняння (2.16) в рівняння (2.17) після перетворень будемо мати:

$$T_k \cdot T_n \cdot \frac{d^2 t_k}{d\tau^2} + (T_k \cdot K_1 + T_n) \frac{dt_k}{d\tau} + (K_1 - 1) \cdot t_n = K_2 + K_1 \cdot P_k \quad (2.22)$$

Розв'язок рівняння (2.22) за аналогією з вищезазначеним розвитком (2.21) отримаємо у вигляді:

$$t_k(\tau) = \frac{t_{k0} \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_2}{C} \quad (2.23)$$

де, $D_2 = K_2 + K_1 \cdot P_k$

Рівняння (2.21) і (2.23) описують динамічні характеристики системи повітряного опалення теплиці з електричним калорифером.

Математична модель динаміки охолоджувача-зволожувача повітря

Основним фактором збурення на процеси тепло і масообміну теплиці в періоди перегріву є потік сонячного випромінювання. Час перегріву повітря в теплиці складає 25-40% загального часу експлуатації в залежності від кліматичної зони. Під час перегріву повітря знижується інтенсивність транспірації вологи листям рослин і це може привести до їх зів'янення.

Одним із ефективних способів зниження температури повітря в теплиці і одночасно підвищення вологості відносної повітря є адіабатичне зволоження циркулюючого або припливного повітря при роботі вентиляційних установок. Для централізованого зволоження повітря використовують плівкові випаровувачі або касетні, в яких поверхня насадки постійно зрошується і зволожується водою.

При проходженні повітря через об'єм насадки відбувається обмін теплом і вологою між поверхнею води і повітрям що охолоджується, а також з поверхнею струменів і крапель зрошувальної води. В процесі контакту води з повітрям, воно віддає частину своєї теплоти на випаровування вологи з поверхні і значно охолоджується. При цьому, за рахунок поглинання вологи, її вміст і відносна вологість повітря збільшується і інтенсивність транспірації рослин знижується і під час контакту з охолодженим повітрям зменшується температура рослини.

Розглянемо характер протікання процесів тепло- і масопереносу на поверхні контакту повітря з водою. Повітря контактуючи з водою віддає частину своєї теплоти поверхні води при цьому вода випаровується і поглинається повітрям. В процесі асиміляції води повітрям скрита теплота випаровування повертається в повітря. Таким чином процес зволоження повітря і зниження його температури проходять при постійному тепловмістуві повітря, тобто при постійній ентальпії.

При такій розглянутій схемі процесу, рівняння теплового і матеріального балансу в диференціальній формі з використанням законів теплообміну і масообміну можна записати у вигляді

$$m_v \cdot c_p \cdot \frac{dt}{d\tau} = G_v \cdot c_p \cdot (t_1 - t) - r \cdot \beta \cdot F \cdot (d''(t) - d) \cdot \rho_v \cdot 10^{-3} \quad (2.24)$$

$$m_v \cdot \frac{dd}{d\tau} = G_v \cdot (d_1 - d) + \rho_v \cdot \beta \cdot F \cdot (d''(t) - d) \quad (2.25)$$

$$d''(t) = a \cdot t + b \quad (2.26)$$

При виводі рівнянь прийнято такі припущення і спрощення:

- зволожувач повітря розглядається, як проточний апарат ідеального змішування;
- рухомими силами тепло- і масообміну є середньоарифметичні різниці відповідних температур;
- градієнтом температур за висотою (вздовж поверхні) нехтуємо;

- акумуляції теплоти в елементах установки не відбувається.

Таким чином, наведені рівняння описують процеси змінення температури і вологовмісту повітря в часі на виході кондиціонера.

В рівняннях (2.24) і (2.25) позначено: t - температура повітря на виході зволожувача, ($^{\circ}\text{C}$); d - вологовміст повітря на виході зволожувача, ($\text{г}/\text{кг.с.п.}$); t_1 , d_1 - температура і вологовміст повітря на вході в камеру зволожувача (температура і вологовміст шатра теплиці на момент включення зволожувача), ($^{\circ}\text{C}$, $\text{г}/\text{кг.с.п.}$); $d''(t)$ - вологовміст повітря в приграничному шарі водяної плівки при температурі повітря, ($\text{г}/\text{кг.с.п.}$); ρ_v - густина повітря, ($\text{кг}/\text{м}^3$); F - поверхня випаровування, (м^2); β - коефіцієнт випаровування, ($\text{м}/\text{с}$); r - питома теплота випаровування, ($\text{Дж}/\text{кг}$); G_v - витрати повітря, ($\text{кг}/\text{с}$); m_v - маса повітря в об'ємі камери зволожувача, (кг); c_p - питома теплоємність повітря, ($\text{Дж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}$).

Перепишемо рівняння (2.24) і (2.25) з новими позначеннями сталих величин:

$$\begin{cases} m_v \cdot c_p \cdot \frac{dt}{d\tau} = -a_1 \cdot t + b_1 \cdot d + c_1 \\ m_v \cdot \frac{dd}{d\tau} = a_2 \cdot t - b_2 \cdot d + c_2 \end{cases} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad a_1 &= G_v \cdot c_p + r \cdot \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot a; & b_1 &= r \cdot \beta \cdot F \cdot \rho_v - r \cdot \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot b; \\ c_1 &= G_v \cdot c_p \cdot t_1 + r \cdot \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot c; & a_2 &= \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot a; & b_2 &= G_v + \beta \cdot F \cdot \rho_v - \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot b; \\ c_2 &= G_v \cdot d_1 + \beta \cdot F \cdot \rho_v \cdot c \end{aligned}$$

Розв'язуючи систему (2.27) відносно $t(\tau)$ і $d(\tau)$ отримаємо нові рівняння:

$$A \cdot \frac{d^2 t}{d\tau^2} + B \cdot \frac{dt}{d\tau} + C \cdot t = D_1 \quad (2.28)$$

$$A \cdot \frac{d^2 d}{d\tau^2} + B \cdot \frac{dd}{d\tau} + C \cdot d = D_2 \quad (2.29)$$

$$\text{де } A = T_1 \cdot T_2; \quad B = T_1 \cdot \frac{b_2}{a_2} + T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1}; \quad C = \frac{a_1 \cdot b_2}{a_2 \cdot b_1} - 1; \quad D_1 = \frac{c_2}{a_2} + \frac{b_2 \cdot c_1}{a_2 \cdot b_1}; \quad D_2 = \frac{c_1}{b_1} + \frac{a_1 \cdot c_2}{b_1 \cdot a_2};$$

$$T_1 = \frac{m_v \cdot c_p}{b_1}; \quad T_2 = \frac{m_v}{a_2}$$

Розв'язок диференціальних рівнянь (2.28) і (2.29) за початкових умов:

$$\tau = 0, \quad t = t_0 = t_1, \quad \frac{dt}{d\tau} = 0, \quad d = d_0 = d_1, \quad \frac{dd}{d\tau} = 0 \quad \text{отримаємо у вигляді:}$$

$$t(\tau) = \frac{t_0 \cdot C - D_1}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_1}{C} \quad (2.30)$$

$$d(\tau) = \frac{d_0 \cdot C - D_2}{C \cdot (r_1 - r_2)} \cdot (r_1 \cdot e^{r_1 \tau} - r_2 \cdot e^{r_2 \tau}) + \frac{D_2}{C} \quad (2.31)$$

$$\text{де } r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

Рівняння (2.30) і (2.31) описують змінення температури $t(\tau)$ і вологовмісту $d(\tau)$ повітря на виході із камери зволоження.

Відносну вологість повітря визначимо з відомого співвідношення:

$$\varphi(\tau) = \frac{10^5 \cdot d(\tau)}{622 \cdot P'_n(t)} \quad (2.32)$$

$$P'_n(t) = (0.04 \cdot t^2 - 0.25 \cdot t + 7) \cdot 133.3 \quad (2.33)$$

Витрати води G_w визначимо через масову швидкість водяної плівки на зрошувальній поверхні F :

$$G_w = w_w \cdot \rho_w \cdot F \quad (2.34)$$

де w_w - швидкість руху водяної плівки, ($м/с$); ρ_w - густина води, ($кг/м^3$).

Звідки поверхня зволоження становить:

$$F = \frac{G_w}{w_w \cdot \rho_w} \quad (2.35)$$

Для теоретичних досліджень тепломасообмінних процесів та побудови математичної моделі системи опалення теплиці розглядається зимова блочна теплиця площею 3,6га.

З метою полегшення управління мікрокліматом теплиця поділена на технологічні зони. З точки зору моделювання одну зону можна вважати об'єктом із зосередженими параметрами.

Розміри секції – $4,5 \text{ м} \cdot 8 \text{ м} = 36 \text{ м}^2$.

Кількість секцій – 180 шт .

Площа теплиці – $180 \cdot 36 \text{ м}^2 = 90 \text{ м} \cdot 72 \text{ м} = 6480 \text{ м}^2$.

Висота колон в центрі – $4,5 \text{ м}$, по краях – $4,0 \text{ м}$.

Площа застеленої поверхні – $F_{ог} = 6480 \text{ м}^2 \cdot 1,008 + 2 \cdot 4 \text{ м} \cdot 72 \cdot \text{м} = 7108 \text{ м}^2$

Товщина скла – $4 \text{ мм} = 0,004 \text{ м}$.

Об'єм приміщення теплиці – $V_p = 6480 \text{ м}^2 \cdot 4,25 \text{ м} = 27540 \text{ м}^3$.

Довжина трубо-рельсових труб обігріву – $10 \cdot 4,5 \text{ м} \cdot 180 = 8100 \text{ м}$.

Довжина труб опалення бокових стін – $4 \cdot 2 \cdot 72 \text{ м} = 576 \text{ м}$.

Довжина розподільчих ліній – 142 м , середній діаметр $0,127 \text{ м}$.

Площа поверхні труб обігріву – $3,14 \cdot 0,051 \text{ м} \cdot (8100 \text{ м} + 576 \text{ м}) = 1389 \text{ м}^2$.

Площа поверхні розподільчих ліній – $3,14 \cdot 0,127 \text{ м} \cdot 142 \text{ м} = 57 \text{ м}^2$.

Товщина стінки труби – $2,25 \text{ мм} = 0,00225 \text{ м}$.

Внутрішній об'єм труб обігріву – $3,14 \cdot 0,0465^2 / 4 \cdot 8676 = 14,73 \text{ м}^3$.

Внутрішній об'єм розподільчих ліній – $3,14 \cdot 0,12^2 / 4 \cdot 142 = 1,61 \text{ м}^3$.

Температура гарячої води обігріву 95°C .

Температура повітря в теплиці 18°C .

Коефіцієнт огороження теплиці $1,097 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

**Графічна інтерпретація розв'язків диференційних рівнянь
математичної моделі мікроклімату в теплиці**

Вирішуючи диференційні рівняння в пакеті MathCAD з відомими початковими умовами отримуємо графічні залежності параметрів мікрокліматичної моделі від часу.

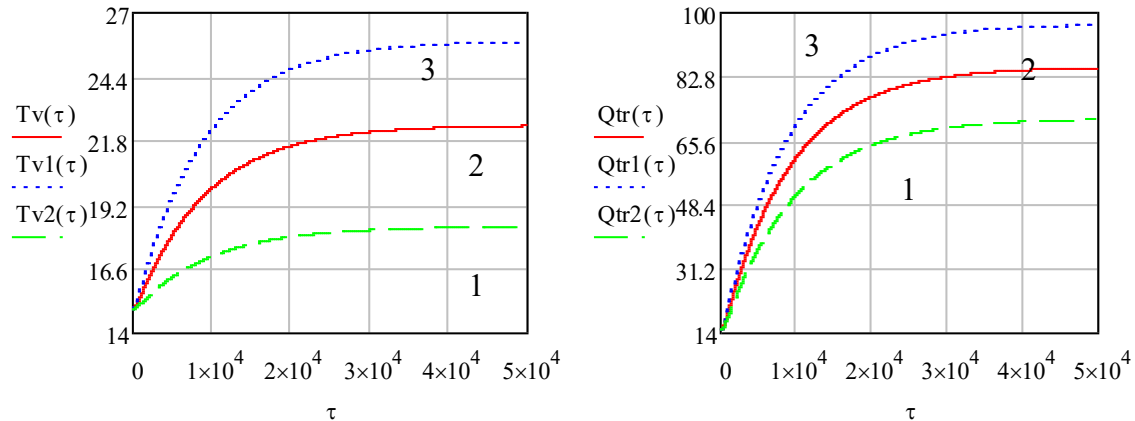


Рис. 2.1 Зміни температури повітря в теплиці та температури трубної системи опалення при різних витратах теплоносія в трубах
1- $G_w = 1.8 \cdot 10^3 \text{ кг/с}$, 2 - $G_w = 3.2 \cdot 10^3 \text{ кг/с}$, 3 - $G_w = 3.2 \cdot 10^3 \text{ кг/с}$

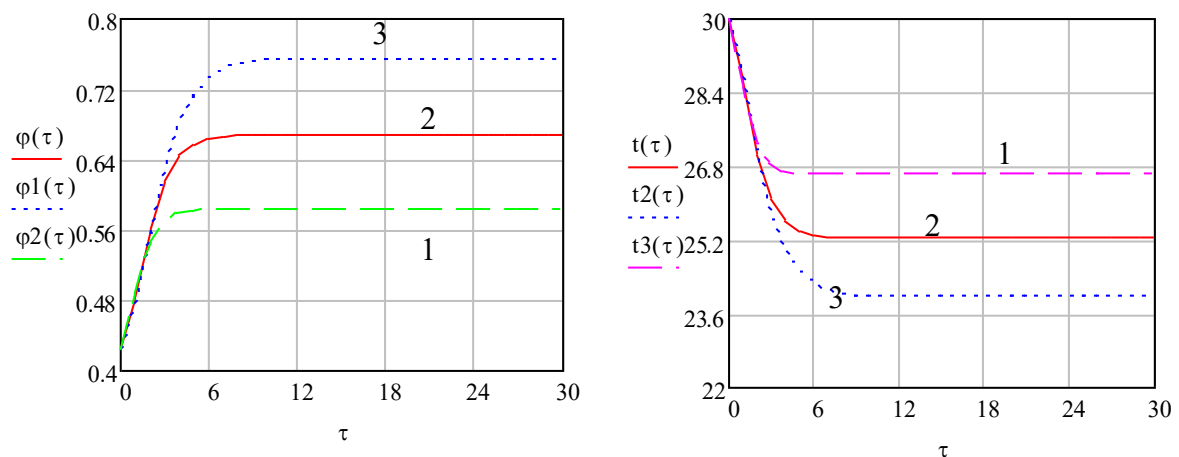


Рис. 2.2 Графіки зміни відносної вологості та охолодження повітря при проходженні через зволожувач-охолоджувач повітря
1- $G_v = 18 \text{ кг/с}$, 2- $G_v = 12 \text{ кг/с}$, 3- $G_v = 19 \text{ кг/с}$

Як було зазначено, одним із ефективних способів зниження температури повітря в теплиці в теплу пору року при перегріві і одночасно підвищення відносної вологості повітря є адіабатичне зволоження циркулюючого або припливного повітря (рис. 2.2).

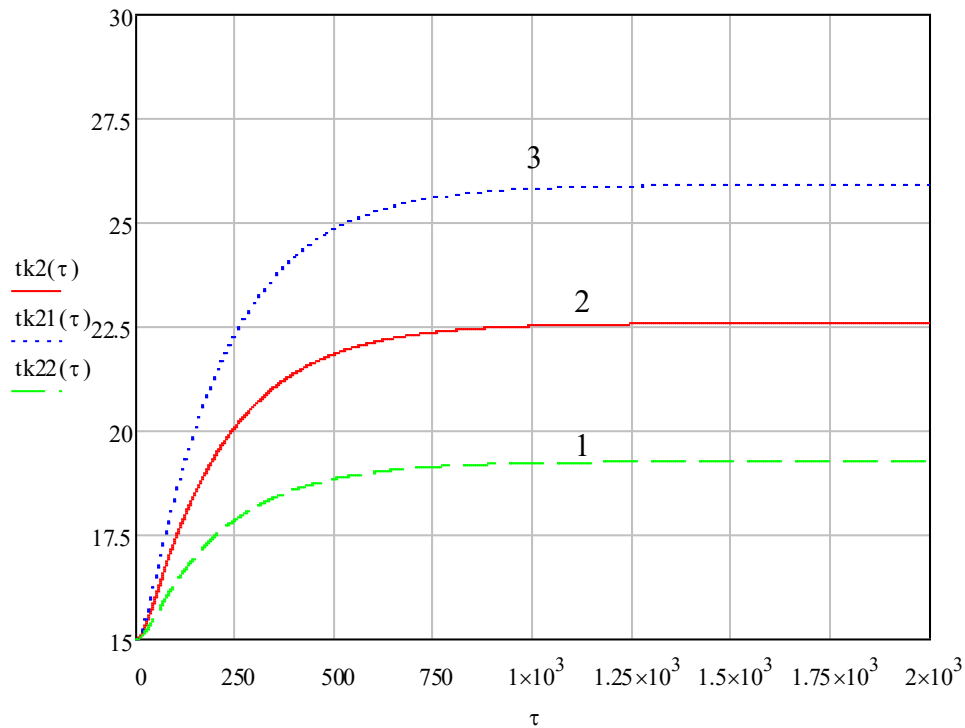


Рис. 2.3. Графічна залежність зміни температури в теплиці при ввімкненні калорифера

1 - $P_n = 220$ кВт; 2 - $P_n = 260$ кВт; 3 - $P_n = 300$ кВт.

2.3 Визначення передатної функції об'єкта керування

Властивості об'єктів можуть бути відображені в їх динамічних характеристиках, які, в свою чергу, виражені в їх передатних функціях.

Для визначення передатної функції теплиці по каналу керування температурою повітря був використаний графічний метод. Для цього розгінна характеристика теплиці, отримана з використанням побудованої математичної моделі при зміні температури повітря від 10°C до 18°C, була пронормована за виразом

$${}^0 y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 10}{18,2 - 10}. \quad (2.36)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю 2.1, нормована крива розгону теплиці зображена на рис. 2.4.

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики теплиці по каналу регулювання температури повітря

Час t_i, c	Температура $T, ^\circ C$	$y(t_i)$	Час t_i, c	Температура $T, ^\circ C$	$y(t_i)$
0	10,000	0	4000	17,233	0,882
250	10,767	0,093	4250	17,367	0,898
500	11,733	0,211	4500	17,467	0,911
750	12,667	0,325	4750	17,567	0,923
1000	13,400	0,415	5000	17,633	0,931
1250	14,000	0,488	5500	17,767	0,947
1500	14,500	0,549	6000	17,900	0,963
1750	14,967	0,606	6500	17,967	0,972
2000	15,367	0,654	7000	18,033	0,980
2250	15,733	0,699	7500	18,067	0,984
2500	16,033	0,736	8000	18,100	0,988
2750	16,300	0,768	8500	18,133	0,992
3000	16,533	0,797	9000	18,167	0,996
3250	16,720	0,820	9500	18,200	1,000
3500	16,933	0,846	10000	18,200	1,000
3750	17,100	0,866			

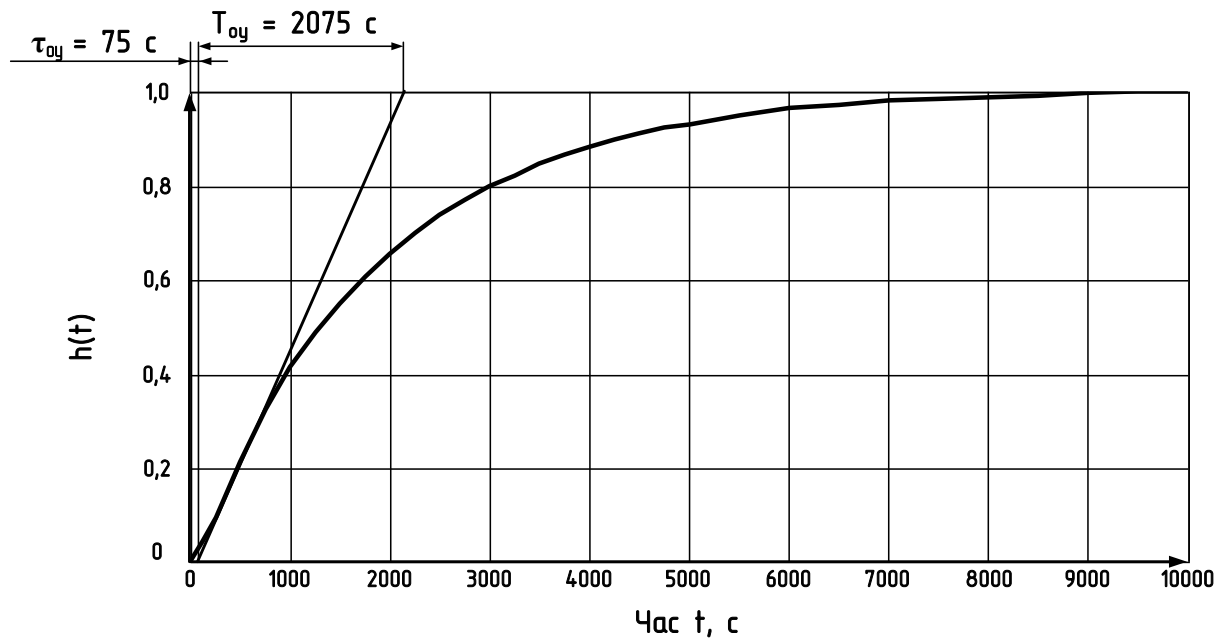


Рис. 2.4. Розгінна характеристика теплиці по каналу керування температурою повітря

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{OY} \cdot e^{-\tau_{OY} \cdot s}}{T_{OY} \cdot s + 1}, \quad (2.37)$$

де k_{OY} - коефіцієнт передачі об'єкта; T_{OY} - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с; τ_{OY} - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу T_{OY} та часу запізнення τ_{OY} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.4). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

$$k_{OY} = \frac{T_K - T_{II}}{\Delta x}, \quad (2.38)$$

де T_K та T_{II} – відповідно кінцеве та початкове значення температури повітря в теплиці, °С;

Δx – зміна вхідного впливу, %.

$T_K = 18,2^\circ C$, $T_{II} = 10^\circ C$; $\Delta x = 30\%$.

$$k_{OY} = \frac{18,2 - 10}{30} = 0,27 \left[\frac{^\circ C}{\% \text{ ходу рег. орг.}} \right].$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики теплиці, складають

$$T_{OY} = 2075 \text{ с}, \quad \tau_{OY} = 75 \text{ с}.$$

Передатна функція теплиці по каналу регулювання температури повітря

$$W_{OY}(s) = \frac{0,27}{2075 \cdot s + 1} \cdot e^{-75 \cdot s}.$$

2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації керування параметрами мікроклімату в теплиці

Оскільки істотний вплив на процес формування агрофітоценозів надають конструктивні особливості культиваційних споруд і використання технічних засобів, були розроблені основні вимоги, наведені на рис. 2.5.

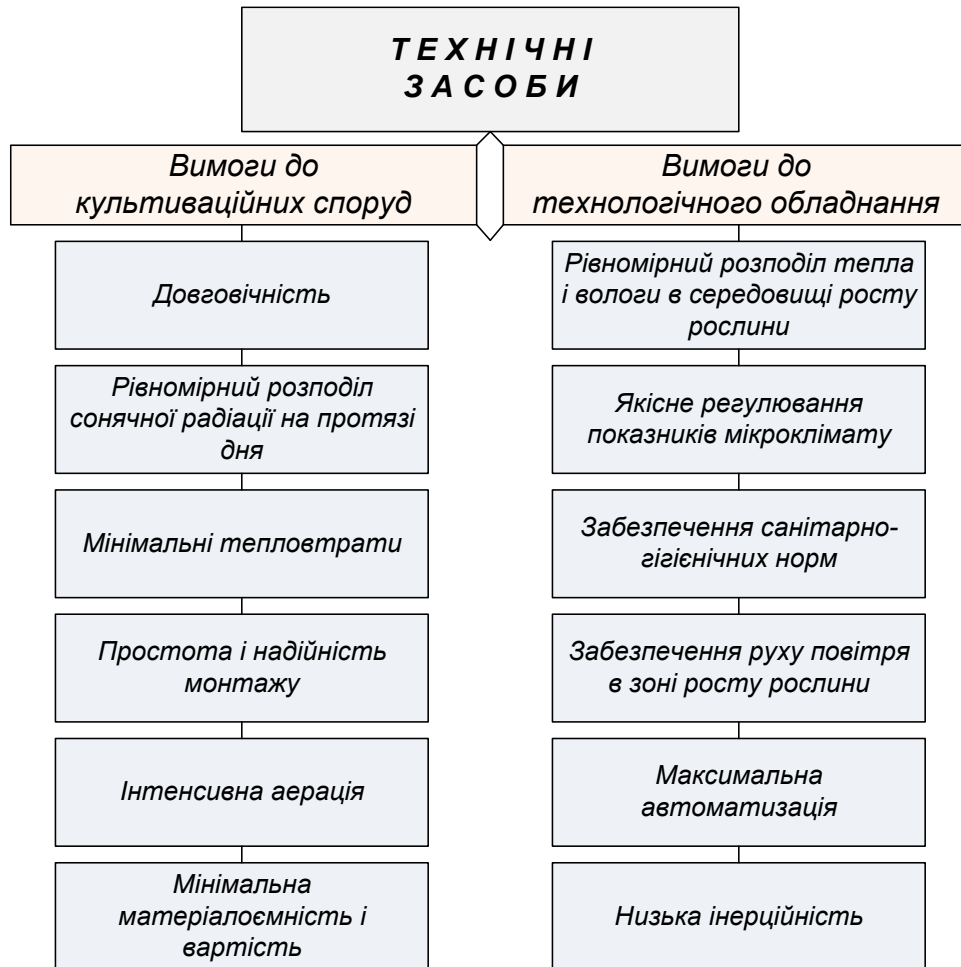


Рис. 2.5. Основні вимоги до технічних засобів управління мікрокліматом в теплиці

До необхідного набору показників, які для досягнення мети повинна реалізувати система автоматичного керування, відносяться: температура, вологість субстрату і повітря, концентрація вуглекислого газу в повітрі, освітленість і т.д. (рис. 2.6). Керування здійснюється за рахунок порівняння

поточних значень параметрів і необхідних за розрахунками, для отримання запланованої врожайності і приведення їх у відповідність в системі автоматизованого управління виробничими процесами.



Рис. 2.6. Поділ технологічного обладнання на системи, що забезпечують підтримку показників мікроклімату

Керування температурним режимом здійснюється наступними контурами: контроль температури теплоносія, регулювання температури в теплиці, регулювання кута нахилу фрамуг.

Приміщення теплиці являє собою об'єкт управління. Температура в теплиці підтримується у визначених межах за рахунок тепла, що надходить від регістрів опалення. Гаряча вода для обігріву теплиці надходить від поряд розташованої котельні. За допомогою триходового клапану здійснюється підмішування води із зворотного трубопроводу опалення до прямої води тим самим регулюючи її температуру. В залежності від сигналу, що надходить до двигуна з керуючого пристрою, виконавчий механізм переміщує регулюючий орган (клапан) на величину $\varphi(t)$. Сигнал $U_1(t)$ на виході керуючого пристрою формується в залежності від сигналів U_0 та U , що надходять від задаючого елемента і датчика відповідно. Сприймаючим елементом є датчик температури, за допомогою якого температура повітря в теплиці $\theta(t)$ перетворюється у код. В якості збурюючої дії виступають – температура та вологість зовнішнього повітря, вітер, опади, відчинення дверей, негерметичність конструкції тощо.

Функціональна схема автоматизації регулювання параметрів мікроклімату в теплиці зображена на рис. 2.7.

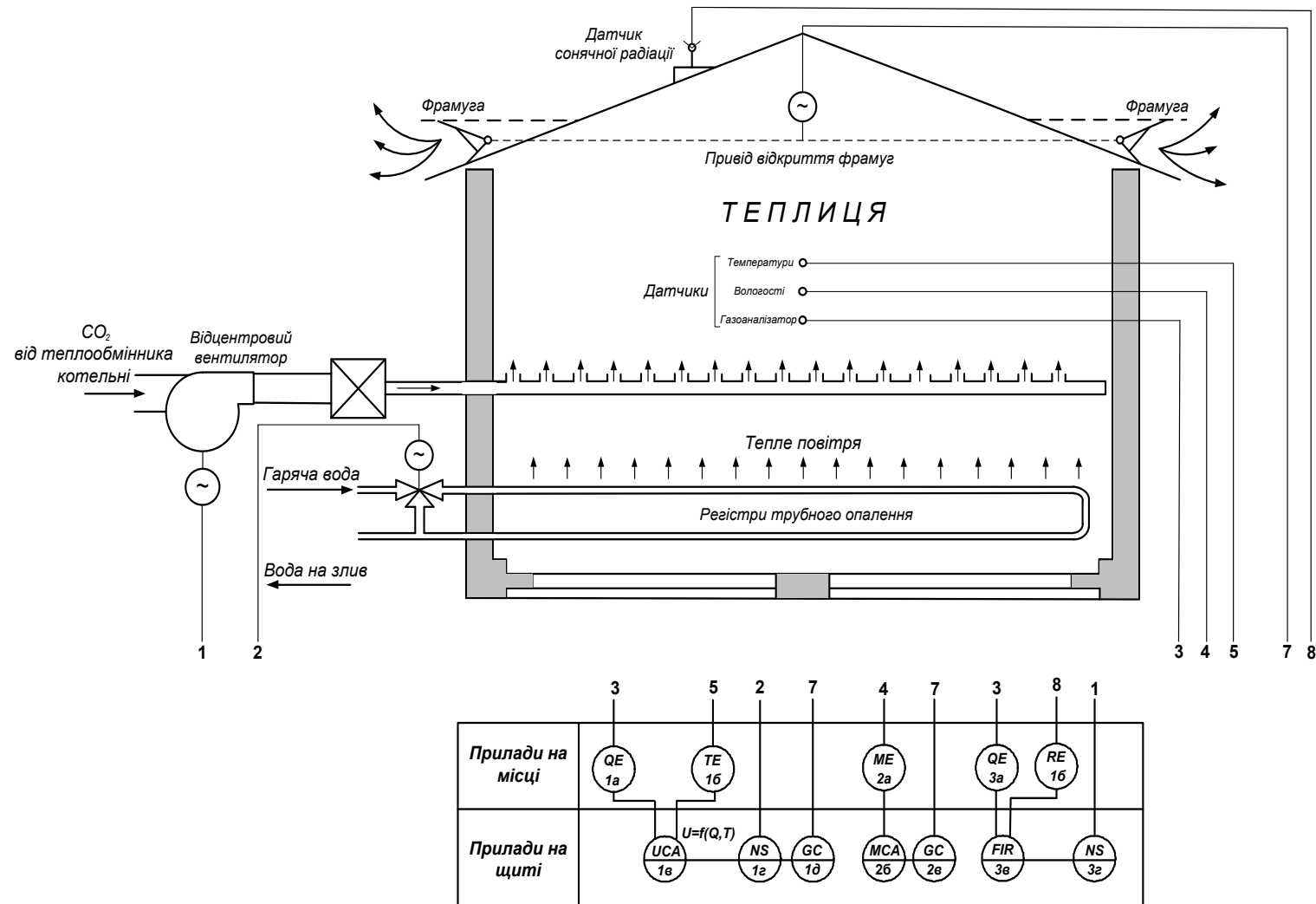


Рис. 2.7. Функціональна схема автоматизації регулювання параметрів мікроклімату в теплиці

3 ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1 Визначення закону керування та розрахунок параметрів регулятора

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта управління. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного закону керування. Встановлено, що критерієм для правильного вибору закону керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$. Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді (2.37).

При виборі типу регулятора рекомендується орієнтуватися на величину відношення запізнення до постійної часу об'єкта $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$.

- Якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному) закону керування, але можливе використання і неперервного закону. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.
- Якщо $0,2 < \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або цифровому закону керування (П-, ПІ- або ПІД-закони)
- Якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, для обґрунтування закону керування і вибору регулятора, який відповідає цьому закону, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості

самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують закон керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматичного керування.

В нашому випадку передатна функція теплиці по каналу керування температурою повітрядорівнює $W_{ov}(s) = \frac{0,27}{2075 \cdot s + 1} \cdot e^{-75 \cdot s}$, для неї відношення

$$\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{75}{2075} = 0,04.$$

Оскільки теплиця по каналу керування температури повітря характеризується досить значною інерційністю, використання позиційного закону керування температурою за допомогою системи трубного опалення призведе до значних температурних коливань. Тому лише за співвідношенням $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$ обирати позиційний закон керування неможна. Закон керування повинен бути обраний неперервний.

ПІ-регулятори на практиці є одними з найбільш поширених, яким властиві наступні переваги:

- забезпечують нульову статичну похибку регулювання;
- є достатньо простими в налагодженні, оскільки мають тільки два параметри настройки – коефіцієнт підсилення k_p і постійну часу інтегрування T_I . В таких регуляторах існує можливість оптимізації величини співвідношення $\frac{k_p}{T_I} \rightarrow \min$, що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною похибкою регулювання;
- мала чутливість до шумів у каналі вимірювання (на відміну від ПД-регуляторів).

На стадії проектування розрахунок параметрів настройки ПІ-регуляторів, за якими їх вибирають, ведуть здебільшого за трьома інженерними методиками:

- на заданий амплітудний показник коливальності;
- на заданий частотний показник коливальності;

$$\begin{aligned}\overline{OD} &= W(j \cdot \omega_i) = \overline{OE_i} + \overline{ED_i} = k_p \cdot W_{OY}(j \cdot \omega) - \frac{k_p \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega} = \\ &= k_p \cdot \overline{OA_i} - j \cdot \frac{k_p \cdot \overline{OA_i}}{T_i \cdot \omega}.\end{aligned}\quad (3.2)$$

Звідки

$$\overline{OE_i} = k_p \cdot \overline{OA_i}, \quad k_p = \frac{\overline{OE_i}}{\overline{OA_i}}, \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}\overline{ED_i} &= \frac{k_p \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega_i} = \frac{\overline{OE_i}}{T_i \cdot \omega_i}, \\ T_i &= \frac{\overline{OE_i}}{\omega_i \cdot \overline{ED_i}}.\end{aligned}\quad (3.4)$$

Для конкретної частоти вищенаведені векторні співвідношення перетворюються на скалярні.

Розрахуємо параметри ПІ-регулятора за заданим амплітудним показником коливальності $C = 0,8$ у математичному пакеті Mathcad.

$$r = \frac{1-C}{2}, \quad d = 2 \cdot r \quad (3.5)$$

де d – діаметр кола; r – радіус кола; C – показник коливальності.

$$\text{Передатна функція ОУ } W_{OY}(s) = \frac{0,27}{2075 \cdot s + 1} \cdot e^{-75 \cdot s}.$$

Будуємо годограф АФЧХ, будуємо коло, проводимо декілька відрізків, які відсікають на АФЧХ відрізки ОА на колі ОЕ та ЕД (рис. 3.2).

Заданий амплітудний показник коливальності

$$Cz := 0.8$$

$$j := \sqrt{-1}$$

$$\omega := 0, 0.000001.. 0.2$$

$$i := 1.. 12$$

$$r := \frac{1 - Cz}{2}$$

$$r = 0.1$$

$$d := 2 \cdot r$$

$$d = 0.2$$

$$x := 0, -0.00001.. -d \quad y(x) := \sqrt{r^2 - (x + r)^2}$$

Визначаємо довжину відрізків OA, OE, ED.

Вектор OE		Вектор ED		Вектор OA	
$ax_i :=$	$ay_i :=$	$bx_i :=$	$by_i :=$	$cx_i :=$	$cy_i :=$
0	0	-0.2	0	0	0
-0.0796	-0.0979	-0.0796	-0.0979	-0.0084	-0.0111
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1064	-0.0998	-0.1064	-0.0998	-0.0084	-0.0087
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1304	-0.0952	-0.1304	-0.0952	-0.0084	-0.0067
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1543	-0.0840	-0.1543	-0.0840	-0.0079	-0.0043
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1755	-0.0656	-0.1755	-0.0656	-0.0074	-0.0029
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1925	-0.0379	-0.1925	-0.0379	-0.0069	-0.0014

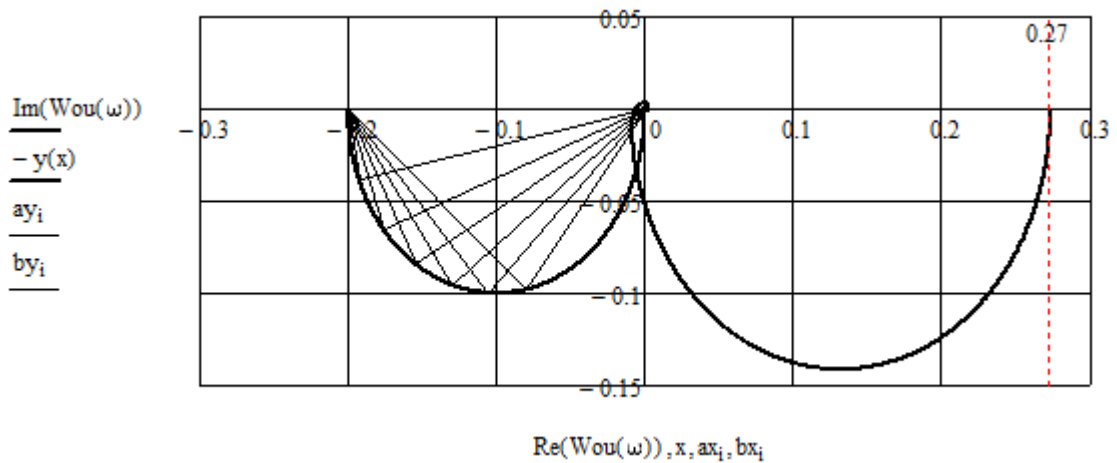


Рис. 3.2. До розрахунку параметрів ПІ-регулятора за умов обмеження системи на заданий запас стійкості за амплітудою

Визначаємо частоти, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків (рис. 3.3).

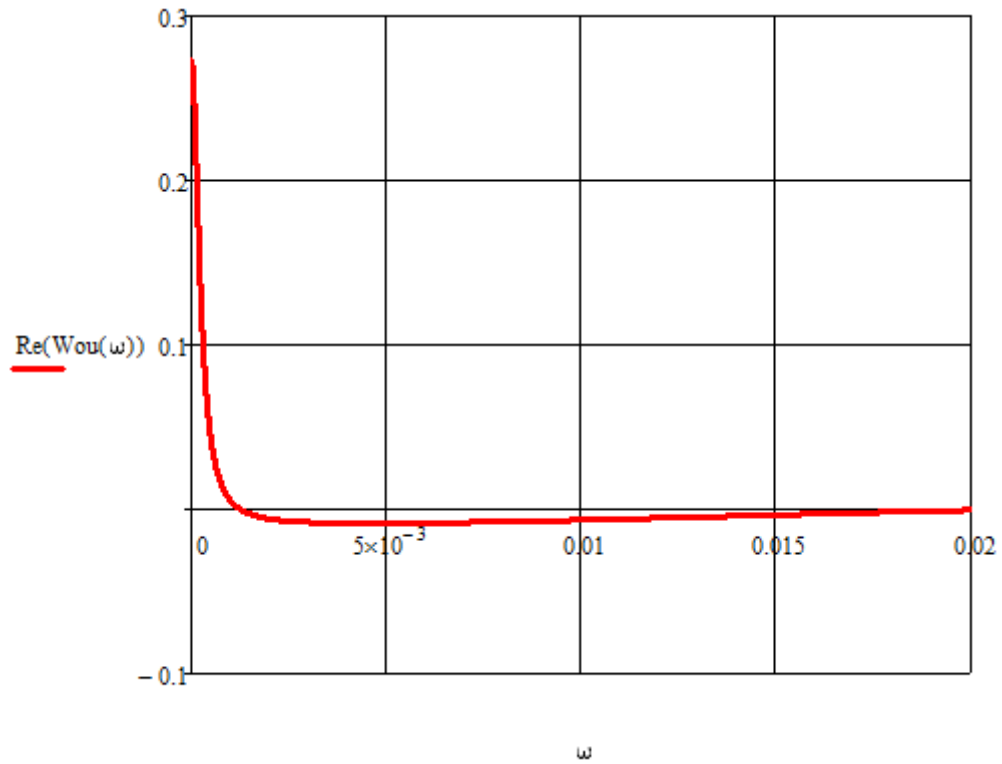


Рис. 3.3. Визначення частот, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків

$OE_i =$	$ED_i =$	$OA_i =$	$\omega_i :=$
0.126	0.155	0.014	0.0039
0.146	0.137	0.012	0.0039
0.161	0.118	0.011	0.0039
0.176	0.096	$8.994 \cdot 10^{-3}$	0.00296
0.187	0.07	$7.948 \cdot 10^{-3}$	0.00255
0.196	0.039	$7.041 \cdot 10^{-3}$	0.0023

Визначаємо параметри настройки регулятора k_p та T_i .

$$Kp_i := \frac{OE_i}{OA_i} \quad Tiz_i := \frac{OE_i}{\omega_i \cdot ED_i} \quad Opt_par := \frac{Kp}{Tiz}$$

$Kp_i =$	$Tiz_i =$	$Opt_par_i =$
4.476	59.832	0.075
5.953	69.15	0.086
7.515	77.036	0.098
9.132	91.824	0.099
10.78	120.474	0.089
12.491	207.661	0.06

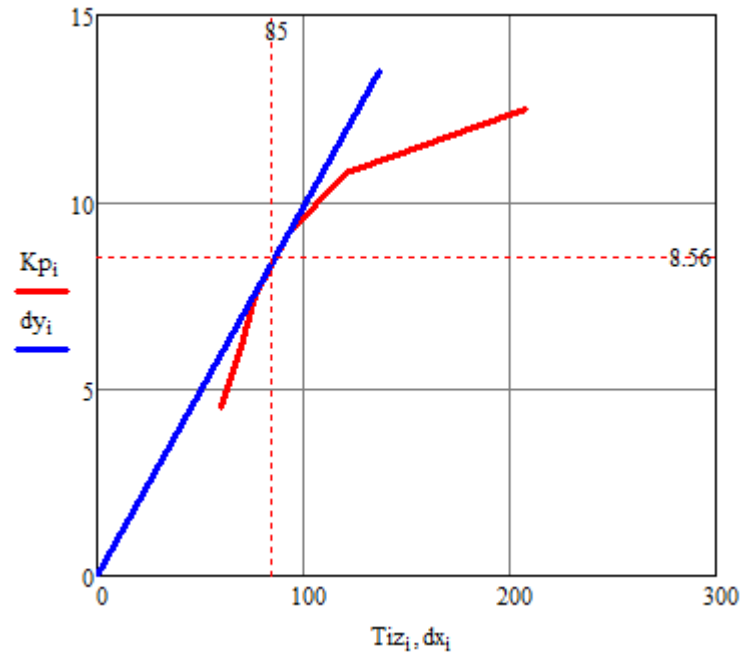


Рис. 3.4. Визначення оптимальних параметрів настройки
ПІ-регулятора

Оскільки необхідний запас стійкості S може бути забезпечений при різних співвідношеннях k_p і T_i , то постає задача щодо вибору оптимального співвідношення. Ці параметри можуть бути знайдені у разі проведення дотичної з початку координат до лінії межових співвідношень (осями координат з k_p та T_i на рис. 3.5). Будуємо лінію межових співвідношень та дотичну до неї.

$$k_p = 8,56, T_i = 85 \text{ c}.$$

Для формування керуючої дії виконавчим механізмом був обраний регулятор температури ТРМ101 з універсальним входом, (рис. 3.6), що призначений для регулювання температури та інших фізичних величин в різноманітних технологічних процесах.

Функціональні можливості:

- Вимірювання температури
- Регулювання по П-, ПІ-, ПІД-закону
- Автонастройка ПІД-регулятора

- Підключення широкого спектра первинних перетворювачів до універсального входу
- Дистанційне керування режимами роботи приладу
- Знаходження обриву контуру роботи в мережі організованій по стандарту RS-485
- Реєстрація вимірювальної величини на аналоговому виході (струм 4...20 мА)

ТРМ-101 являє собою одноканальний регулятор з універсальним входом для підключення датчиків, додатковим входом для дистанційного керування; блоком обробки даних, що формує сигнали керування вихідними пристроями.



Рис. 3.6. Зовнішній вигляд регулятора ТРМ-101

Входи приладу:

ТРМ-101 має один універсальний вхід для підключення датчиків наступних типів:

- Термоперетворювачів опору ТСМ 50М/100М, ТСП 50П/100П.
- Термопар ТХК(L), ТХА(К), ТНН(N), ТЖК(J), ТПП(S).
- Датчиків з уніфікованим сигналом струму 0...5 мА, 0(4)...20 мА та напруга 0...1 В, -50...+50 мВ.

Блок обробки даних.

Призначений для обробки вхідного сигналу, індикації вимірної величини та формування сигналів керування.

Робота регулятора за П-, ПІ-, ПІД-законами керування.

Керування навантаженням може здійснюватися двома методами:

- Імпульсним (через реле, транзисторну або симісторну оптопару);
- Аналоговим (струмом 4...20 мА).

Інтерфейс RS-485

В приладі встановлений модуль інтерфейсу RS-485, що дозволяє керувати приладом за допомогою комп'ютера або іншого контролера, також видавати інформацію про стан регульованої системи на РС.

Двох-направлений інтерфейс за допомогою комп'ютера дозволяє здійснювати:

- Читання вимірюваних величин;
- Вимірювання режимів регулювання;
- Запуск/зупинка процесу.

Технічні характеристики

Живлення:

Напруга живлення 85...265 В змінного струму частотою 50...60 Гц;

Споживана потужність 6 ВА.

Входи: Універсальний вхід 1

Типи датчика	Діапазон вимірювань
ТСМ50М/100М,ТСМ6114	-50...+200 °С
ТСП50П/100П,Рт100,ТСПгр.21	-200... +750 °С
ТСМ 50М/100М W= 1,428	-190...+200 °С
ТХК(L)	-200...+800 °С
ТХА (К), ТНН(N)	-200...+1300°С
ТЖК	-200...+1200 °С
ТПП(S), ТПП(R)	0...+1750°С

ТПР(В)	+200...+1800°C
ТВР(А1)	0...+2500°C
ТВР(А2)	0...+1800°C
ТВР(А3)	0...+1600°C
ТМК(Т)	-200...+400 °C
Сигнал стуму	0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...100%
Сигнал напуги	0...1 В, 50...+50 мВ , 0...100%
Додатковий вхід 2	
Опір зовнішнього ключа стані	більше 100 кОм в розімкнутому
Опір зовнішнього ключа	менше 1 кОм в замкнутому стані

Виходи:

Кількість виходів: 2.

Струм навантаження ключового вихідного пристрою електромагнітні реле 1 А при 220 В змінного струму 50...60 Гц,

- транзисторна оптопара 200 мА при 50 В постійного струму;
- симісторна оптопара 50 мА при 300 В;

Аналоговий вихід

- вихідний сигнал ЦАП 4...20 мА постійного струму;
- напруга живлення 10...30 В постійного струму;
- опір навантаження 0...1000Ом;

Корпус

- Тип корпусу Щ5;
- Габаритні розміри 48x48x102 мм;
- Ступінь захисту IP20.

3.2 Обґрунтування вибору сприймаючого елемента, регулюючого органу і виконавчого механізму САК температурним режимом в теплиці

Датчик рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини і були як найближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності датчика і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії (інерційності) вимірювального перетворювача, яка характеризується його постійною часу T .

Так, при обґрунтуванні вибору датчика температури повітря в теплиці необхідно в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни температури повітря відповідно до технічних умов повинна забезпечити спроектована система регулювання.

Діапазон регулювання температури повітря в теплиці знаходиться в межах $(12...26)^\circ\text{C}$. Для цього діапазону можна вибрати межі вимірювання мідного термометра опору ТСМ-50М (таблиця 3.1), які складають $(-50...150)^\circ\text{C}$. Інерційність цього перетворювача складає 15 с. Для того, щоб цей перетворювач у процесі вимірювання температури повітря на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання температури, його постійна часу T_{CE} повинна бути не менше, ніж на порядок меншою від постійної часу об'єкта T_{Oy} . Постійна часу теплиці T_{Oy} складає 2075с. З огляду на сказане вище, максимальна постійна часу вимірювального перетворювача, при якій можна знехтувати його інерційністю, повинна бути не більше $T_{\text{Oy}}/10 = 207,5\text{с}$, а постійна часу вибраного датчика температури ТСМ-50М дорівнює 15 с.

Вибраний нами датчик температури ТСМ-50М (рис. 3.7) має статичну характеристику, зображену на рис. 3.8.



Рис. 3.7. Зовнішній вигляд датчика температури ТСМ-50М

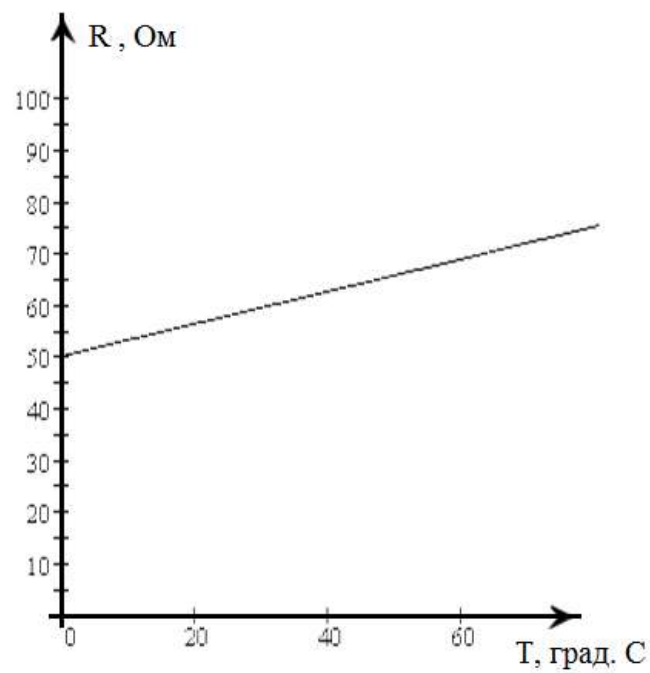


Рис. 3.8. Статична характеристика датчика ТСМ-50М

Таблиця 3.1. Характеристика датчика температури ТСМ-50М

Тип	Діапазон вимірювання °С	Показник теплової інерції
ТСМ-50М	-50...+150	15с.

За динамічними властивостями термометри опору є інерційними ланками, передатна функція яких має вигляд:

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

Передатну функцію датчика температури типу ТСМ-50М знаходимо наступним чином:

$$m_D \cdot C_D \frac{d\Delta\Theta_\partial}{dt} = \alpha_\partial \cdot F_\partial \cdot (\Delta\Theta_{nv} - \Delta\Theta_\partial) \quad (3.6)$$

де: m_D - маса датчика, кг;

C_D - теплоємність датчика, кДж/кг °С;

α_∂ - коефіцієнт теплопередачі, кДж/кг °С;

F - поверхня теплообміну, м²;

θ_∂ - температура датчика, °С;

θ_{nv} - температура повітря, °С.

$$R_\partial = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\Theta_\partial) \quad (3.7)$$

де:

R_0 - опір датчика при 0°С, Ом;

α - термічний коефіцієнт для міді, приймаємо $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$.

Записавши рівняння у відхиленнях одержимо:

$$\Delta R_\partial = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\Theta_\partial \quad (3.8)$$

$$\Delta\Theta_\partial = \frac{\Delta R_\partial}{\alpha \cdot R_0} \quad (3.9)$$

Підставивши і перетворивши його одержимо:

$$\frac{m_\partial \cdot C_\partial}{\alpha_\partial \cdot F_\partial} \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\Theta_\partial \quad (3.10)$$

В канонічній формі це рівняння має вид:

$$T \cdot \frac{d\Delta R}{dt} + \Delta R = k \cdot \Delta\Theta_\partial \quad (3.11)$$

де:

$$T = \frac{m_{\delta} \cdot C_{\delta}}{\alpha_{\delta} \cdot F_{\delta}}; \quad k = \alpha \cdot R_0$$

Для датчика ТСМ-50М: $k = 4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0,21$;

$T = 15$ с - визначили як показник теплової інерції.

Тоді передатна функція має вигляд:

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

Регулюючий орган – один із самих відповідальних елементів САР (від його роботоздатності багато в чому залежать надійність системи в цілому і надійність регулювання), безпосередньо діючих на об'єкт управління.

Для контуру температури повітря теплиці з трубним опаленням обираємо триходовий змішувальний клапан. У трубопроводах клапан триходовий встановлюється таким чином, що до нього здійснюється підведення одночасно і гарячої, і холодної води, чим досягається необхідна температура води на виході. При цьому клапан регулюючий триходовий не здійснює зміну потоку води - її тиск завжди залишається постійним, змінюється лише співвідношення проходження гарячої та холодної води. Клапан триходовий має досить просту конструкцію. Він являє собою корпус, що має два вхідних і один вихідний отвір.

В якості регулюючого елемента в клапані, зазвичай, застосовується або шток спеціальної конструкції, який може рухатися у вертикальному напрямку, або куля, яка може повертатися навколо осі. При цьому регулюючий елемент не здійснює повне перекриття клапана, а перерозподіляє потоки рідин, тим самим виробляючи їх змішування.

Для вибору регулюючого органу проведемо певні розрахунки.

Задані параметри:

$$\gamma = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} - \text{об'ємна маса води}, Q_{\min} = 250 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \nu = 0,2 \text{с} - \text{в'язкість},$$

$$Q_{\max} = 375 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} - \text{витрати}, t_1 = t_2 = 80^\circ \text{C} - \text{температура}, P_1 = 15 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2},$$

$$\Delta P_c = 10 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} - \text{перепад тисків}, \Delta P_{\text{Л}_{\max}} = 4 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

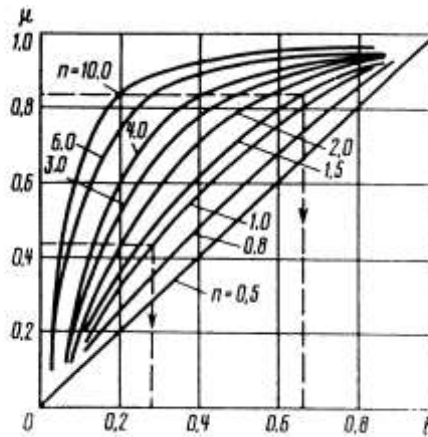


Рис. 3.9. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

$$K_{v_{\max}} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\min}}} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P_{\text{Л}_{\max}}}} = 375 \sqrt{\frac{1}{10 - 4}} \approx 153 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.12)$$

Поправки на в'язкість не вводимо, оскільки індекс в'язкості

$$z = 420 \frac{Q_{\max}}{\nu} \sqrt{K_{v_{\max}}} = 420 \frac{375}{0,2} \sqrt{153} = 9743797,04 > 1000 \quad (3.13)$$

З довідникової літератури приймаємо діаметр регулювального клапана, який становить $D_\gamma = 125 \text{мм}$, $K_{vPO} = 250 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$. Оскільки умова $K_{vPO} \geq 1,2 \cdot K_{v_{\max}} = 1,2 \cdot 153 = 183,6$ виконується, то даний регулювальний обертовий клапан цілком підходить.

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулювального органу.

Для цього скористаємось наступними формулами:

$$K_{v,l} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{l,\max}}} = 500 \sqrt{\frac{1}{4}} = 250 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.14)$$

$$K_{\gamma,l} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{l,\max}}} = 375 \sqrt{\frac{1}{4}} = 187,5 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.15)$$

Визначаємо відношення перепаду тиску на регулювальному органі при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = \frac{K_{\gamma,PO}}{K_{\gamma,l}} = \frac{250}{187,5} = 1,33 \quad (3.16)$$

Уточнюємо перепад тиску на регулюючому органі:

$$\Delta P_{PO} = \frac{\Delta P_c}{1+n^2} = \frac{10}{1+1,33^2} = 3,717 \text{ кг/см}^2. \quad (3.17)$$

Визначаємо витрату через регулюючий орган у разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{PO} = K_{\gamma,PO} \sqrt{\frac{\Delta P_{PO}}{\gamma}} = 250 \sqrt{\frac{3,717}{1}} = 481,98 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.18)$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

$$\mu_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{PO}} = \frac{375}{481,98} = 0,778; \quad (3.19)$$

$$\mu_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{PO}} = \frac{250}{481,98} = 0,519. \quad (3.20)$$

З графіка, що зображений на рис. 3.9. вибираємо витратну характеристику, в відповідності з якою відносний хід плунжера $l_{\min} = 0,3$ та $l_{\max} = 0,52$.

Визначаємо відношення:

$$k_{PO} = \frac{\Delta \mu}{\Delta l} = \frac{\mu_{\max} - \mu_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} = \frac{0,778 - 0,519}{0,52 - 0,3} = 1,18 \quad (3.21)$$

При цьому відношення перепаду тиску на клапані до перепаду тиску в системі змінюється від $\beta_{\max} = 0,9$ до $\beta_{\min} = 0,62$ (рис. 3.10.), що відповідає наступним перепадам:

$$\Delta P_{\max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 0,9 \cdot 10 = 9 \text{ кг/см}^2 \quad (3.22)$$

$$\Delta P_{\min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 0,62 \cdot 10 = 6,2 \text{ кг/см}^2 \quad (3.23)$$

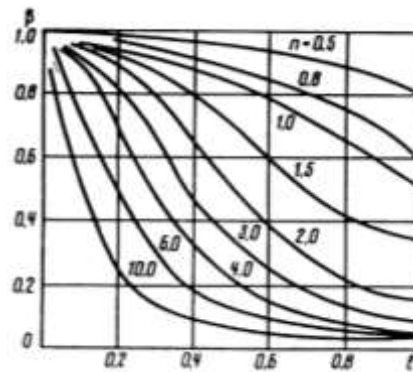


Рис. 3.10. Зміни перепадів тисків для регулювальних клапанів

Згідно із розрахунками, обираємо трьохходовий регулювальний клапан HONEYWELL V5016A (рис. 3.11), який призначений для автоматичного живлення і підтримки необхідної подачі води в системах трубного опалення, а також інших аналогічних системах.



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд клапану HONEYWELL V5016A

Таблиця 3.2. Основні характеристики HONEYWELL V5016A

Регулююче середовище – неагресивна для матеріалів клапану	
Діаметр умовного проходу, мм.	80
Величина умовного середовища, Мпа	1,6
Температура регулюючого середовища ° С	Від 5 до 180
Умовна пропускна здатність м ³ /ч	до 60
Хід затвору, регулюючий, мм.	17
Відносне протікання клапану	0,4
Габарити, мм.	133 x 344 x 439
Маса, кг	9

В якості виконавчого механізму, яким комплектується даний клапан, може виступати сервопривод Honeywell ML6420, що підходить для плавного регулювання і використовується в основному в системах опалення промислових об'єктів.

Використовуючи довідникову літературу, приймаємо в якості виконавчого механізму двигун ML6420 (с кінцевим сигналізатором положення) фірми Honeywell, який зображено на рис. 3.12.



Рис. 3.12. Сервопривод Honeywell ML6420

Таблиця. 3.3. Характеристики сервоприводу Honeywell ML6420

Напруга живлення	220 В + 20%;
Частота	50 Гц
Макс. навантаження контактної сигналізації	220В/3А
Виконання	IP 40
Обертний момент	10 Нм
Максимальний кут робочого ходу	360°
Час повороту в межах робочого ходу	210 сек (360°)
Під'єднуючий провід	4x0,5 - 0,75мм ² Cu
Робоче положення	Довільне
Робоча температура	-10°С - +35°С
Робоче середовище	Звичайне
Температура зберігання і відносна вологість	0 - +50°С, 80%
Рівень шуму	50 дВ
Ступінь необхідності обслуговування	без обслуговування
Розміри	134x168мм
Маса	1,05кг

Передатна функція вказаного сервоприводу є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s}, \quad (3.24)$$

де k_{BM} - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, град./с.;

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (3.25)$$

Δt - проміжок часу, с;

$\Delta\varphi_{OB}$ - кут повороту вихідного валу за проміжок часу Δt , град.

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{360}{210} = 1,7 \frac{\text{град.}}{\text{с.}}$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s} = \frac{1,7}{s}$$

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Дослідження САК температурним режимом в теплиці на стійкість

Для визначення стійкості за критерієм Найквіста необхідно побудувати амплітудно-фазову частотну характеристику розімкненої системи.

Критерій Найквіста: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в замкненому стані необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкненої системи $W(j\omega)$ при зміні ω від нуля до нескінченності не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини.

Для побудови АФЧХ САР температури повітря в теплиці скористаємось пакетом прикладних програм MatLab, структурна схема якої буде мати такий вигляд (рис. 4.1).

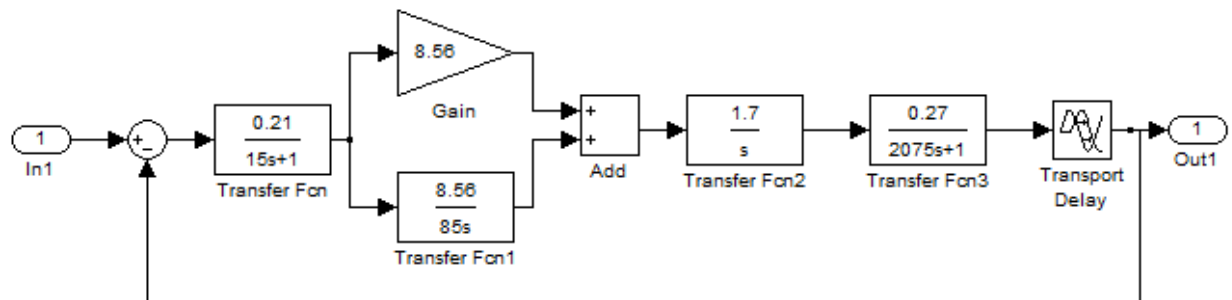


Рис. 4.1. Структурна схема для побудови годографа Найквіста

Аналізуючи вигляд годографа Найквіста (рис. 4.2) видно, що при зміні частоти від 0 до ∞ годограф не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$, що означає, що система автоматичного регулювання стійка.

Запас стійкості по амплітуді $\Delta L = 21$ дБ, запас по фазі $\Delta\phi = 53^\circ$.

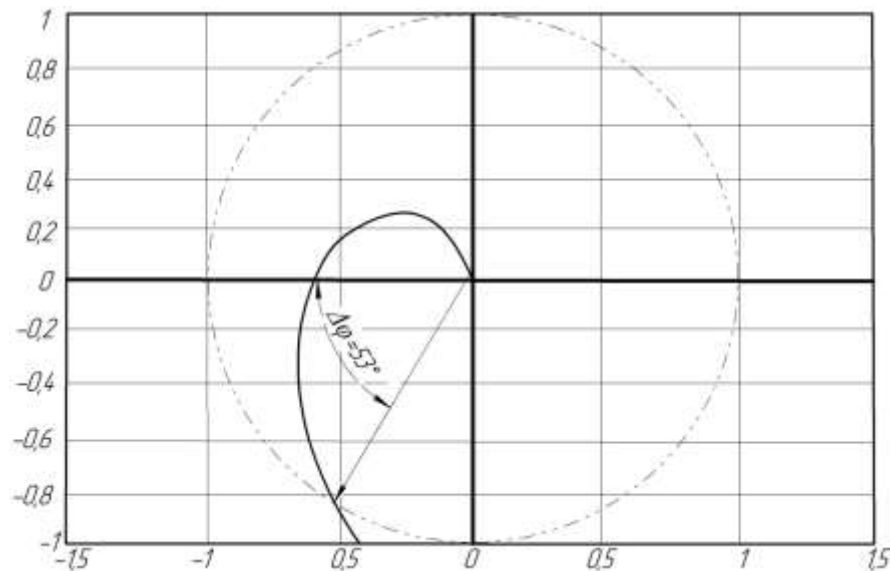


Рис. 4.2. Годограф Найквіста розімкненої САР температури повітря в теплиці

4.2 Визначення показників якості роботи системи керування

Для визначення показників якості роботи системи зазвичай проводять аналіз реакції системи на різні типові впливи (одинична сходинка, одиничний імпульс, гармонійний вплив, стаціонарний випадковий процес).

Якість роботи системи автоматичного керування визначається рядом показників, основними з яких є:

- швидкодія системи оцінюється часом t_{PEI} , який визначається проміжком часової вісі від моменту прикладення впливу до моменту, коли різниця між заданою та вихідними величинами в усі наступні моменти часу стає меншою за величину $\Delta = \pm 5\%$ від усталеного значення вихідної величини $y(\infty)$;
- перерегулювання $\sigma\%$ характеризує величину максимального динамічного відхилення системи у перехідному процесі;

- кількість напівколивань n за час перехідного процесу t_{PEI} є мірою коливальності;
- статична похибка в усталеному режимі $\delta(t)$.

Для визначення показників якості роботи САР температури повітря в теплиці використаємо імітаційну модель, складену в середовищі MatLab (рис. 4.1).

Отримані результати візуалізуємо у вигляді перехідного процесу (рис. 4.3).

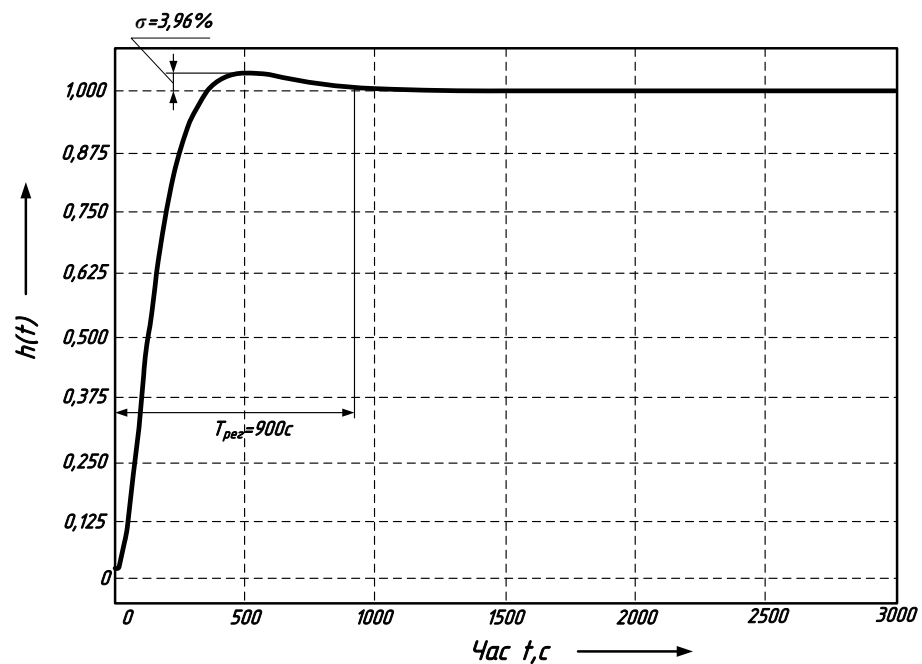


Рис. 4.3. Перехідна характеристика САР температури повітря в теплиці

З рис. 4.3 видно, що система має наступні показники якості роботи:

1. Перерегулювання $\sigma = \frac{h(t)_{\max} - h(t)_{\text{уст}}}{h(t)_{\text{уст}}} \cdot 100\% = 3,96\%$
2. Коливальність $n = 1$.
3. Час регулювання $t_p = 900$ с.
4. Відсутня статична похибка.

5 СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка електричної принципової схеми керування параметрами мікроклімату в теплиці

Принципова електрична схема – це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення про принцип роботи системи.

В ході виконання магістерської роботи була розроблена схема електрична принципова автоматичного керування мікрокліматом в теплиці (рис. 5.1.).

Система автоматичного регулювання складається з регулятора *A*, датчика температури *TE*, датчиків вологості повітря і субстрату *ME*, магнітних пускачів *KM1-7*, проміжних реле *KV1-2*, перемикача режимів *SA1*. Апарати керування знаходяться в загальному ящику керування.

При ввімкненні автоматичного вимикача *QF1* на схему подається живлення. В залежності від положення перемикача режимів *SA1* схема може працювати в ручному та автоматичному режимі.

В ручному режимі схема працює в залежності від натискання кнопок *SB1*, *SB2*. Перша група кнопок забезпечує відкриття та закриття регулюючого клапану. Кнопки *SB4*, *SB5* та *SB7*, *SB8* працюють аналогічно першій групі кнопок. При натисканні на кожну із кнопок подається живлення на відповідну котушки магнітних пускачів *KM1...KM6*. Контакти кнопок дубльовані замикаючими контактами магнітних пускачів та здійснюють само підтримання. Також в кожному ланцюзі передбачено захист від одночасного вмикання двох реле для однієї заслінки у вигляді розмикаючих контактів *KM1.3...KM6.3*.

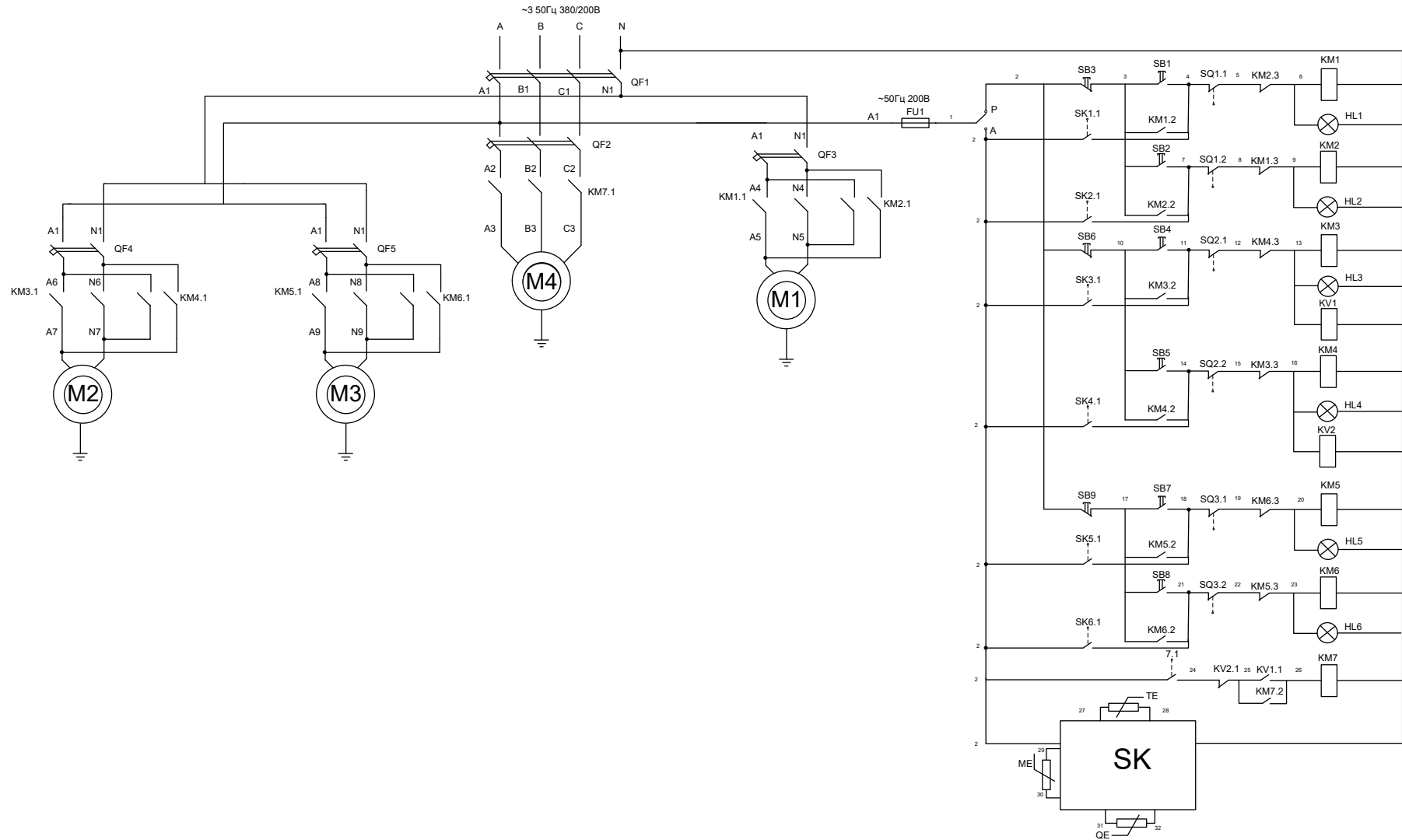


Рис. 5.1. Схема електрична принципова керування мікрокліматом в теплиці

При досягненні кожною їх заслінок свого максимального положення спрацьовують кінцеві вимикачі $SQ1$ та $SQ2$. Ручну зупинку забезпечують стопові кнопки $SB3$, $SB6$ та $SB9$. Про подання напруги на котушки магнітних пускачів свідчать сигнальні лампи $HL1 \dots HL6$.

В автоматичному режимі схемою керує регулятор А, що ґрунтується на показах датчиків температури TE та вологості повітря і субстрату ME , вмикає своїми контактами $A1.1 \dots A1.6$ відповідні котушки магнітних пускачів. Також в автоматичному режимі працює насос який вмикається коли контакти регулятора $A1.7$ замикаються.

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

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

Для приводу насосів, як правило, використовують трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором основного виконання, а для заслінок однофазні двигуни.

Вихідні дані для розрахунку та вибору:

Вибираємо електродвигун для насосу АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками: $P_{ед} = 5,5 \text{ кВт}$; $n_H = 1400 \text{ об/хв}$; $I_H = 11 \text{ А}$; $\eta_H = 85\%$; $\cos\varphi_H = 0,86$; $K_i = 7$, $U = 380 \text{ В}$

Електродвигун АИР 112М4УЗ:

А – асинхронний;

И – уніфікована серія ;

Р – прив’язка до установочних розмірів;

112 - позначення серії;

М – довжина пакету статора;

4 – кількість полюсів;

У – кліматичне виконання (призначені для використання в мікрокліматичних з помірним кліматом);

Вибираємо електродвигун для регулюючих клапанів з наступними технічними характеристиками: $P_{\text{ЕД}} = 1,1 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ об/хв}$; $I_{\text{Н.}} = 3,2 \text{ А}$; $\eta_H = 75\%$; $\cos\varphi_H = 0,74$; $K_i = 6$, $U = 220 \text{ В}$

5.2 Обґрунтування та вибір пуско-захисної апаратури

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{\text{н.ав}} \geq U_{\text{м.}}, \quad (5.1)$$

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

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

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{\text{н.ав}} \geq I_{\text{н.дв}}, \quad (5.2)$$

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

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

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{\text{нр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{н.дв}}, \quad (5.3)$$

де $I_{\text{нр}}$ - 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 корпуса, від

потрапляння під корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69;

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

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1:

Так як згідно з технологічними умовами обрано один двигун для насосу АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками:

$P_{\text{ед}} = 5,5 \text{ кВт}$; $n_H = 1400 \text{ об/хв}$; $I_{\text{н.}} = 11 \text{ А}$; $\eta_H = 85\%$; $\cos\varphi_H = 0,86$; $K_i = 7$, $U = 380 \text{ В}$, а також три виконавчих механізми Regada ST-0 для регулюючих клапанів з наступними технічними характеристиками: $P_{\text{ед}} = 1,1 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ об/хв}$; $I_{\text{н.}} = 3,2 \text{ А}$; $\eta_H = 75\%$; $\cos\varphi_H = 0,74$; $K_i = 6$, $U = 220 \text{ В}$.

Отже для вибору автоматичного вимикача *QF1* використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв.}} = I_{\text{н.дв.1}} + I_{\text{н.дв.2}} + I_{\text{н.дв.3}} + I_{\text{н.дв.4}} = 11 + 3,2 + 3,2 + 3,2 = 20,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{н.р.}} = 20,6 \cdot 1,25 = 25,75 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо автоматичний вимикач **ВА51Г-25-34** з наступними технічними характеристиками $U_{\text{н.ав.}} = 415 \text{ В}$; $I_{\text{н.ав.}} = 25 \text{ А}$; $I_{\text{н.р.}} = 32 \text{ А}$; $K_{\text{відс.р.м.}} = 12$
 $415 \text{ В} > 380 \text{ В}$; $25 \text{ А} > 20,6 \text{ А}$; $32 \text{ А} > 25,75 \text{ А}$.

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF2:

Так як згідно з технологічними умовами обрано один двигун для насосу АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками:

$P_{\text{ед}} = 5,5 \text{ кВт}$; $n_H = 1400 \text{ об/хв}$; $I_{\text{н.}} = 11 \text{ А}$; $\eta_H = 85\%$; $\cos\varphi_H = 0,86$; $K_i = 7$, $U = 380 \text{ В}$

Отже для вибору автоматичного вимикача *QF2* використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв.}} = I_{\text{н.дв}} = 11 \text{ А};$$

$$I_{н.р.} = 11 \cdot 1,25 = 13,75 \text{ A};$$

Згідно розглянутих умов (1, 2, 3) здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо автоматичний вимикач **ВА-2012 3р 16А** з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 400\text{В}$; $I_{н.ав.} = 16\text{А}$; $I_{н.р.} = 20 \text{ А}$; $K_{відс.р.м.} = 12$
 $400\text{В} > 380\text{В}$; $16\text{А} > 11\text{А}$; $20\text{А} > 13,75\text{А}$.

Умови виконуються отже автоматичний вимикач вибраний вірно.

Вибір електромагнітних пускачів

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватись для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням. Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.мп.} \geq U_{м.}, \quad (5.4)$$

де $U_{н.мп.}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В;

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

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{н.мп.} \geq I_{н.}, \quad (5.5)$$

де $I_{н.мп.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А;

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

г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{к.мп.} \geq U_{кк.}, \quad (5.6)$$

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

$U_{кк.}$ - напруга кола керування, В;

д) за ступенем захисту;

е) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ7:

$$U_{н.с.м.}=380В; I_{н.дв.}=11А; U_{н.м.у.}=220В$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна.

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ-1160 із наступними технічними характеристиками: $U_{н.м.п.}=380В; I_{н.м.п.}=16А; U_{н.к.}=220В.$

$$380В=380В; 16А>11А; 220=220$$

Вибір плавкого запобіжника

Запобіжник призначений для захисту електричного кола від струму короткого замкнення і короткочасних перевантажень.

Вибір плавкого запобіжника виконується за такими умовами:

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

$$U_{н.з} \geq U_{к.у}, \quad (5.7)$$

де $U_{н.з}$ – номінальна напруга запобіжника, В;

- в) за номінальним струмом з умови:

$$I_{н.зан} \geq I_{к.у}, \quad (5.8)$$

де $I_{н.зан}$ – номінальний струм запобіжника, А;

$I_{к.у}$ – максимальне значення струму, який протікає через запобіжник,

встановлений в нерозгалуженій частині кола управління, А.

Максимальне значення струму, який протікає через запобіжник

$$I_{к.у} = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (5.9)$$

$$I_{кк.} = I_{км.} + 2 \cdot I_{kl} + 6 \cdot I_{hl}, \quad (5.10)$$

де $I_{км.}$ – струм, який протікає в колі котушки магнітного пускача, А;

I_{kl} – струм, який протікає в колі котушки проміжного реле, А;

I_{hl} – струм, який протікає в колі сигнальних ламп, А.;

Так як у довідковій літературі приводяться дані, то приймаємо їх такі:

$$I_{кк.} = 0.1 + 2 \cdot 0.2 + 6 \cdot 0.25 = 2 \text{ А}$$

г) за номінальним струмом плавкої установки з умови:

$$I_{н.вс} \geq I_{к.у}, \quad (5.11)$$

де $I_{н.вс}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника, А.

Згідно приведених умов обираємо плавкий запобіжник ПРС-6-П з наступними технічними характеристиками:

$$U_{н.зап.} = 380 \text{ В}; I_{н.зап.} = 6 \text{ А}; I_{вст.} = 2 \text{ А} .$$

Плавкий запобіжник ПРС-6-П вибраний вірно, так як всі умови виконуються.

5.3 Вибір щитів та пультів

Щитом управління є площа з листового металу в якій прорізаються отвори для установки кнопок і перемикачів управління. Кількість і призначення елементів управління визначена по принциповій електричній схемі.

За моїм завданням розробки системи автоматичного регулювання мікроклімату в теплиці, панель управління має шафний тип зі штативом. Експериментальним шляхом були підібрані такі розміри щита 600*400*350 мм.

Умовам розміщення відповідає шафний щит малогабаритний типу ЩШМ.

Згідно з ОСТ 36.13-76 передбачено такий умовний запис щитової продукції: ЩШМ (600+400+350) У4ІР54 ГОСТ 36.13-76.

На рис. 5.2. зображено загальний вигляд шафи керування мікрокліматом в теплиці та показано його габаритні розміри.

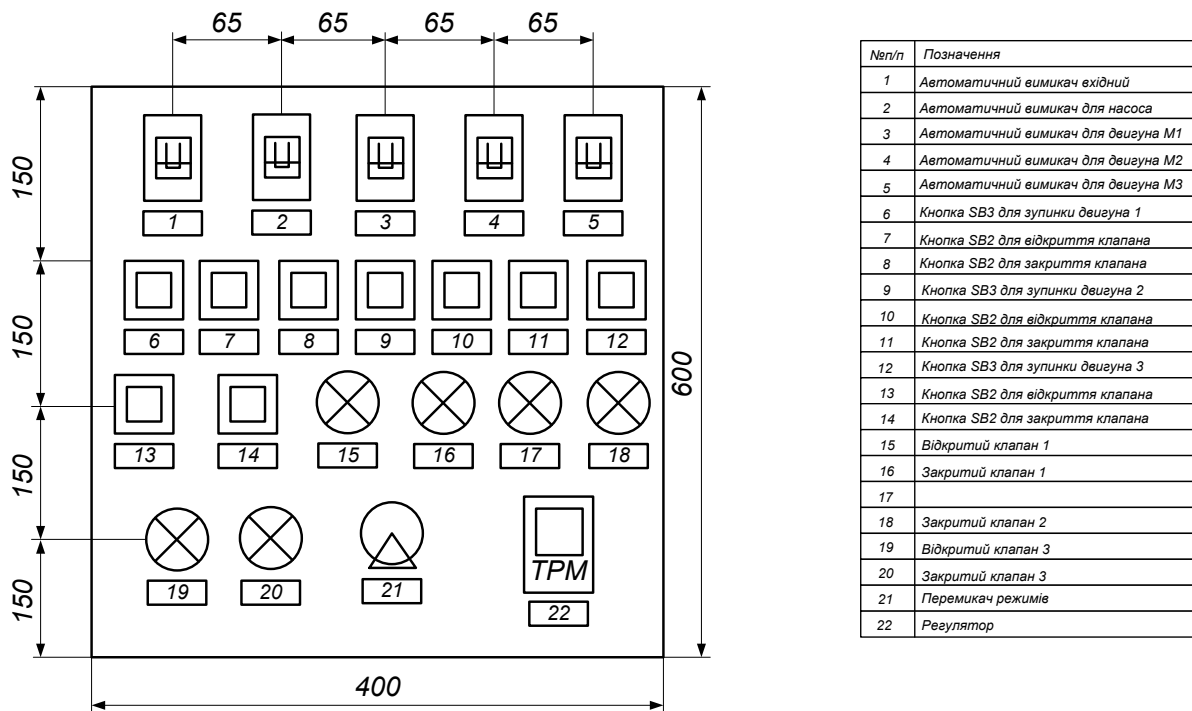


Рис. 5.2. Загальний вигляд шафи керування

Шафи потрібно встановлювати приблизно на рівні ока оператора (1600-1650мм).

Прилади і засоби автоматизації монтують в послідовності їх читання зліва направо.

Окремим апаратом технологічного процесу на щиті (пульті) відповідають групи приладів і засобів автоматизації, які обслуговують їх.

Таким чином пульт, щит управління можна представити як інформаційну модель об'єкту регулювання. Тому необхідно зберігати аналогію між об'єктом управління і відображаючою моделлю – щитом, пультом управління.

5.4 Обґрунтування та вибір проводок

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячі з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

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

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз} \quad (5.12)$$

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

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

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.13)$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.14)$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.15)$$

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

$$I_{м.роз.} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз)} \quad (5.16)$$

де K_o - коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії,

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

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М1:

АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками:

$$P_{ед} = 5,5 \text{ кВт}; n_H = 1400 \text{ об/хв}; \eta_H = 85\%; \cos \varphi_H = 0,86; K_i = 7, U = 380 \text{ В}$$

Розраховуємо номінальний струм двигуна згідно із умовою :

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 5,5 \text{ кВт}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ В} \cdot 85\% \cdot 0,86} = 11 \text{ А}$$

Згідно із умовою $19 \text{ А} \geq 10 \text{ А}$, обираємо трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки АПВГ.

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигунів М2, М3, М4:

Так як згідно з технологічними умовами обрано три двигуни Regada ST-0 для регулюючих клапанів з наступними технічними характеристиками:

$$P_{ед} = 1,1 \text{ кВт}; n_H = 900 \text{ об/хв}; \eta_H = 75\%; \cos \varphi_H = 0,74; K_i = 6, U = 220 \text{ В}.$$

Розраховуємо номінальний струм двигуна згідно із умовою :

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 1,1}{220 \cdot 0,74} = 3,2 \text{ А}$$

Згідно із умовою $16 \text{ А} \geq 3,2 \text{ А}$, обираємо трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГнГ .

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення кінцевих вимикачів температури повітря:

$$U_{к.в} = 24 \text{ В}, I_d = 0,2 \text{ А}$$

Так як номінальний струм живлення датчику складає $0,2 \text{ А}$ обираємо обираємо двухжильний кабель кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки АПВГ .

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення установки:

$$I_{ном1} = 11A, I_{ном2} = 3,2 \cdot 3 = 10,24A, I_{ном3} = 0,2 \cdot 3 = 0,6A$$

$$I_{м.роз.} = 3 \cdot (11A + 0,6A + 10,24A) = 65,5A$$

Згідно із умовою $70A \geq 65,5A$, обираємо кабель ВВГнг 2х10 з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 10 мм², тривало допустимий струм якого дорівнює 70 А.

5.5 Розробка схеми підключень

Схема підключень показує зовнішнє підключення апаратів, установок, щитів, пультів тощо.

На схемі підключень показані зв'язки щита керування САР із зовнішніми пристроями такими як: щит живлення, електродвигуни приводу насосів, кінцеві вимикачі. Зображено до яких контактів клемної збірки підключень чи інший пристрій, позначено марки кабелів, що з'єднують пристрої.

В ході виконання магістерської роботи була розроблена схема електрична підключень системи автоматичного керування (рис. 5.3.).

На схемі підключень показані зв'язки щита керування САР із зовнішніми приладами.

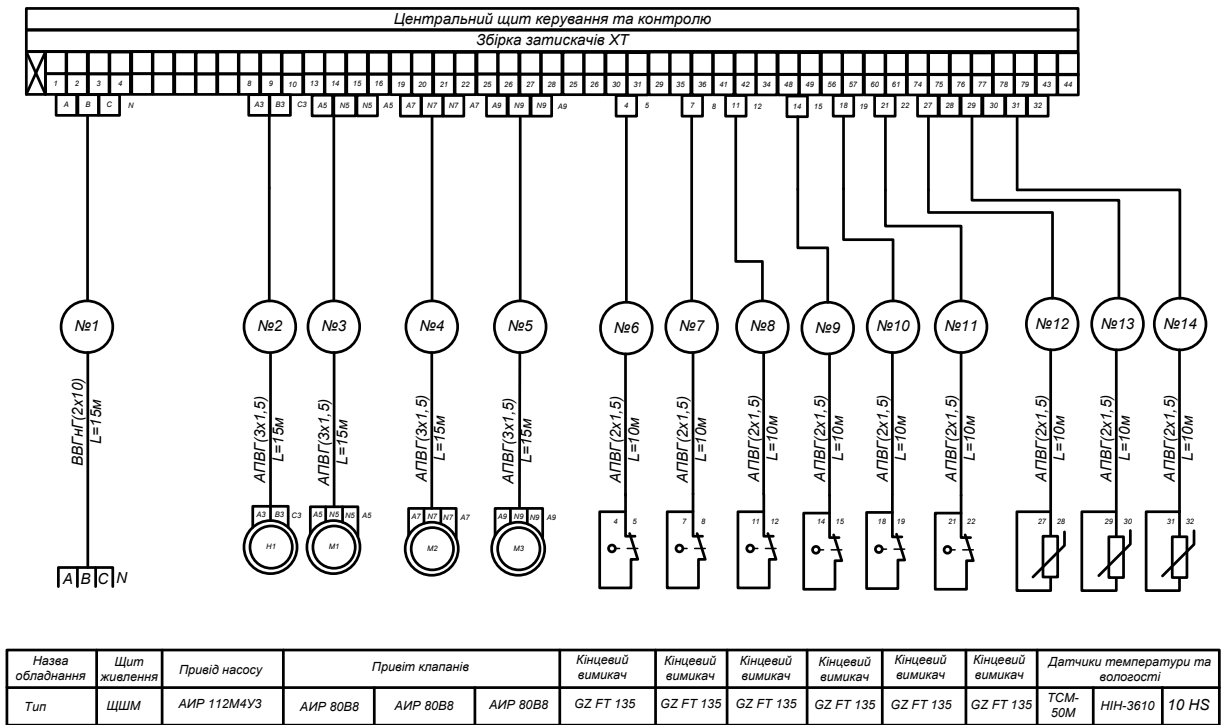


Рис. 5.3. Схема електрична підключень системи керування

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ

Метою виконання економічної частини магістерської роботи є доведення економічної доцільності впровадження та використання системи автоматичного керування. Для цього студентом має бути проведено техніко-економічне порівняння проектних рішень, яке складається з таких етапів:

- розрахунок капіталовкладень
- розрахунок щорічних експлуатаційних витрат
- Розрахунок звідних економічних показників, на підставі якого

робиться висновок про доцільність промислового впровадження обладнання на об'єкті дослідження.

Економічна ефективність інноваційного проекту визначається розміром чистого прибутку, отриманого за рахунок реалізації інновації протягом життєвого циклу проекту. При розрахунку економічної ефективності слід обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. Тобто, треба враховувати дисконтування – перерахунок вигод і витрат для кожного розрахункового періоду за допомогою норми (ставки) дисконту. Воно ґрунтується на використанні техніки складних процентів. Величина суми, яку ми одержимо після реалізації інноваційного проекту

$$FV = \frac{PV}{(1+r)^t}, \quad (6.1)$$

FV - майбутня вартість (сума);

PV - теперішня вартість (сума);

Норма дисконту позичкового капіталу – відповідна відсоткова ставка, яка визначається умовами відсоткових виплат і погашення позик.

Коефіцієнт дисконтування, що показує різницю між теперішньою та майбутньою вартістю розраховується за формулою:

$$K_o = \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (6.2)$$

де t - номер кроку розрахунку;

r – постійна норма дисконту (у %).

Чиста теперішня вартість ЧТВ (інтегральний ефект) - це різниця результатів і витрат за розрахунковий період, приведені до одного, як правило, початкового року, тобто з урахуванням їх дисконтування.

$$ЧТВ = \sum (D_t - B_t) \cdot K_o, \quad (6.3)$$

де t – розрахунковий рік;

D_t – доходи в t -тий рік;

B_t – інноваційні витрати в t -тий рік;

K_o – коефіцієнт дисконтування.

Чиста теперішня вартість інноваційного проекту розраховується також за формулою, згідно прийнятій міжнародній термінології

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (6.4)$$

де CF_t - сума грошових потоків по проекту;

I_0 - початкова сума інвестицій у проект.

Індекс рентабельності інвестицій – це відношення приведених доходів до приведених на цю ж дату витрат, що супроводжують реалізацію інноваційного проекту.

$$I_p = \frac{\sum D_k \cdot A_k}{\sum B_k \cdot A_k}, \quad (6.5)$$

Якщо *ЧТВ* (NPV) позитивна, то індекс рентабельності >1 , і навпаки. При $I_p > 1$, інноваційний проект вважається економічно ефективним, і навпаки.

Внутрішня форма рентабельності (ВНР) – показує ту норму дисконту E_p , за якої величина дисконтованих доходів за певне число стає рівною інвестиційним вкладенням у реалізацію проекту. У такому разі

доходи і витрати проекту визначаються приведенням до розрахункового моменту.

Отже, *норма рентабельності* – це таке порогове значення рентабельності, яке забезпечує рівність нулю інтегрального ефекту, розрахованого на економічний термін життя інноваційного проекту. Вона дорівнює максимальному відсотку за позиками, який можна платити за використання необхідних ресурсів, залишаючись при цьому на беззбитковому рівні.

Розрахунок внутрішньої норми рентабельності здійснюють методом послідовних наближень ЧТВ до нуля за різних ставок дисконту.

$$E_p = A + \frac{A_n \cdot (B - A)}{A_n - B}, \quad (6.6)$$

де B – величина ставки дисконту, за якої ЧТВ негативна;

A_n – величина позитивної ЧТВ за величини ставки дисконту A ;

B – величина негативної ЧТВ за величини ставки дисконту B .

Термін окупності інноваційного проекту – це період, протягом якого додатковий прибуток, отриманий внаслідок реалізації інноваційного проекту, забезпечить повернення інвестицій.

Проведемо математичний розрахунок проекту.

Для зручності та наочності всі необхідні технічні засоби занесемо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1. Приблизна вартість технічних засобів системи автоматичного керування

Назва обладнання	Необхідна кількість, шт	Загальна ціна комплекту, тис. грн.
Насос циркуляційний	2	2
Датчик температури	15	1,5
Датчик вологості повітря	5	0,5
Датчик вологості субстрату	3	1
Регулятор	1	2
Сервопривід + клапан	1	4
Трьохходовий клапан	1	2
Форсунки розпилення води	8	2
Інші засоби	-	5
РАЗОМ		20

Отже, загальна вартість капітальних вкладень, не враховуючи витрат на монтаж, буде сягати близько 20 тис. грн.

Дохід за весь період 17,0 млн. грн.

Ставка дисконтування 0,18.

Термін реалізації інноваційно-інвестиційного проекту 5 років.

Ціна одиниці продукції становить 24 грн.

Постійні витрати на виробництво продукції 5 грн.

Змінні витрати на виробництво одиниці продукції 14 грн.

У кожному наступному році збільшується ступінь дисконтування. Обчислення ЧДД у цьому разі приводять до даних кожного року реалізації проекту. Підсумувавши визначені дані, одержимо ЧДД = 9,45 тис. грн.

Індекс дохідності (рентабельності), є співвідношення чистого дисконтованого доходу та одноразових і капітальних витрат на використання нової технології, що визначає дисконтовану норму прибутку. При сумі ЧДД, рівній 9,45 тис. грн., індекс дохідності становитиме 0,47.

Тобто рентабельність становитиме 47 %, а впровадження системи слід визнати прибутковим.

Період окупності для впровадження розробленої системи керування – період, необхідний для повернення їх первісної суми за рахунок накопичених

чистих потоків реальних грошей в результаті функціонування зазначеної системи керування.

$$T=2,16$$

Витрати будуть окупленими приблизно за два роки.

Точка безбитковості проекту визначається як відношення постійних поточних витрат на виробництво продукції до різниці між ціною та змінними витратами на одиницю продукції.

У цьому випадку це співвідношення має вигляд:

$$T_{\text{б}} = \frac{5}{24-15} = 0,55$$

Точка безбитковості знаходиться в межах 55% номінального обсягу виробництва, що підтверджує надійність проекту.

7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Закон України “Про охорону праці” прийнято Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року і введено в дію з 24 жовтня 1992 року. Він визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

7.1 Аналіз стану охорони праці в господарстві

На всіх підприємствах, в установах, організаціях повинні створюватися безпечні і нешкідливі умови праці. Забезпечення цих умов покладається на власника або уповноважений ним орган.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

В організації охорони праці в тепличному господарстві беруть участь керівник господарства, головний спеціаліст, керівники виробничих ділянок, окремих підрозділів, що певним чином впливають на організацію охорони праці.

Керівний орган повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизмові, і забезпечувати

санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників.

Керівник не має права вимагати від працівника виконання роботи, поєднаної з явною небезпекою для життя, а також в умовах, що не відповідають законодавству про охорону праці. Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або людей, які його оточують, і навколишнього середовища.

В господарстві систематично проводиться інструктаж (навчання) працівників з питань охорони праці, протипожежної охорони. Трудові колективи обговорюють і схвалюють комплексні плани поліпшення умов, охорони праці та санітарно-оздоровчих заходів і контролюють виконання цих планів. Жоден цех, дільниця, виробництво не можуть бути прийнятті і введенні в експлуатацію, якщо на них не створено безпечних і нешкідливих умов праці.

Введення в експлуатацію нових і реконструйованих об'єктів виробничого та соціально-культурного призначення без дозволу органів державного нагляду за охороною праці забороняється.

Керівник зобов'язаний вживати заходів щодо полегшення і оздоровлення умов праці працівників шляхом впровадження прогресивних технологій, досягнень науки і техніки, засобів механізації та автоматизації виробництва, вимог ергономіки, позитивного дозволу з охорони праці, зниження та усунення запиленості та загазованості повітря у виробничих приміщеннях, зниження інтенсивності шуму, вібрації, випромінювань, тощо.

Разом з тим на працівників покладаються певні обов'язки:

- знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту.

- додержувати зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором та правилами внутрішнього трудового розпорядку;
- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;
- співробітничати з керівником виробництва у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посилюючих заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу їх життю чи здоров'ю або людей, які їх оточують, і навколишньому природному середовищу, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

Постійний контроль за додержанням працівниками вимог нормативних актів про охорону праці покладається на інженера по охороні праці.

Керівник зобов'язаний за свої кошти організувати проведення попереднього (при прийнятті на роботу) і періодичних (протягом трудової діяльності) медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі, а також щорічного обов'язкового медичного огляду осіб віком до 21 року.

Важливе значення для охорони праці у захищеному ґрунті має аналіз виробничого травматизму. Аналіз виробничого травматизму потрібен для того, щоб виявити причини виробничих травм та захворювань. Показники виробничого травматизму, підраховані при аналізі, застосовуються також для визначення динаміки їх змін, для порівняння рівня виробничого травматизму між окремими дільницями (бригадами), галузями, господарствами. Тільки завдяки правильно встановленим причинам виробничих травм чи аварій вдається найбільш точно вжити заходів щодо їх запобігання.

7.2 Безпечність об'єкта проектування

Стан охорони праці у тепличному господарстві потребує постійного покращення, як у фінансовому напрямі та і у підвищенні виробничої дисципліни з боку працівників.

До заходів щодо поліпшення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

У щорічному фінансовому плануванні потрібно виділяти кошти на охорону праці, зокрема для зменшення кількості робочих місць із небезпечними та шкідливими умовами праці з метою запобігання нещасних випадків, захворювань та поліпшення умов праці, що у кінцевому результаті підвищує ефективність виробництва.

На даний час спостерігається незначне виділення коштів на охорону праці, у зв'язку із фінансовими труднощами та низькою прибутковістю господарства. Невелика сума виділених коштів не може забезпечити суттєвого покращення стану охорони праці.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюються з метою створення безпечних умов праці шляхом доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці; захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать:

а) зміни стану умов праці: зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці; поліпшення санітарно-гігієнічних показників тощо.

б) соціальні результати заходів: збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам; зниження рівня виробничого травматизму тощо.

в) економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві.

Джерелами фінансування заходів щодо поліпшення умов праці на підприємстві можуть бути: власні кошти підприємства, фінансові ресурси від продажу акцій, кредити, бюджетні кошти держави, благодійні внески тощо. Розрахунок витрат коштів для впровадження рекомендованих заходів з охорони праці у господарстві виконується залежно від характеру пропонованих заходів.

7.3 Розрахунок заземлюючого пристрою

Заземлюючий пристрій виконуємо у вигляді контуру із сталюї штаби з прямокутним поперечним перерізом 20x4 мм з вертикальними електродами 0,012 м довжиною 5 м, викладеного на глибину $t = 0,8$ м від поверхні землі з двошаровою структурою : $\rho_1 = 240 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\rho_2 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 3,5$ м, $\rho_1/\rho_2 = 1,33$.

В якості природного заземлювача використовується залізобетонний фундамент споруди (площа якого 50 кв.м)

1) Висуваємо вимоги мережі 0,38 кВ .

Для визначення допустимої величини заземлюючого пристрою вирахуємо еквівалентний питомий опір двошарового ґрунту за формулою :

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot k \cdot l}{\rho_1(t + kl - h_1) + \rho_2(h_1 - t)}, \quad (7.1)$$

$k=1$ при $\rho_1 > \rho_2$.

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{240 \cdot 180 \cdot 1 \cdot 5}{240(0,8 + 5 - 3,5) + 180(3,5 - 0,8)} = 208,09 \quad (\text{Ом} \cdot \text{м})$$

Визначаємо опір природного заземлювача:

$$R_{\text{пр}} = 0,5 \frac{\rho_{\text{эф}}}{\sqrt{S}}, \quad (7.2)$$

де $\rho_{\text{эф}}$ - еквівалентне значення питомого опору ґрунту, Ом*м

$$\rho_{\text{эф}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha \frac{h_1}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta \frac{\sqrt{S}}{h_1}} \right), \quad (7.3)$$

де α, β - коефіцієнти, $\rho_1 > \rho_2$ - $\alpha = 3,6, \beta = 0,1$;

$$\rho_{\text{эф}} = 240 \left(1 - e^{-3,6 \frac{3,5}{7,07}} \right) + 180 \left(1 - e^{0,1 \frac{7,07}{3,5}} \right) = 233,88 \quad (\text{Ом*м})$$

$$R_{\text{пр}} = 0,5 \frac{233,88}{\sqrt{50}} = 16,5 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{\text{л}} = 10 \frac{208,09}{100} = 20,8 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{\text{пз}} = 30 \cdot 2,08 = 62,4 \quad (\text{Ом})$$

Згідно із розрахунками, кожен повторний заземлювач повинен мати опір 62,4 Ом, а загальний опір їх на кожній лінії має становити не більше 21 Ом.

$$R_{\text{л1}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л1}}} = \frac{62,4}{7} = 8,9 \quad (\text{Ом}) < 21 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{\text{л2}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л2}}} = \frac{31,2}{2} = 15,6 \quad (\text{Ом}) < 21 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{\text{л3}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л3}}} = \frac{62,4}{6} = 10,4 \quad (\text{Ом}) < 21 \quad (\text{Ом})$$

Загальний опір повторних заземлювачів:

$$R_{\text{п}} = \frac{R_{\text{л1}} R_{\text{л2}} R_{\text{л3}}}{R_{\text{л1}} R_{\text{л2}} + R_{\text{л2}} R_{\text{л3}} + R_{\text{л1}} R_{\text{л3}}} = \frac{8,9 \cdot 15,6 \cdot 10,4}{8,9 \cdot 15,6 + 15,6 \cdot 10,4 + 8,9 \cdot 10,4} = 3,6 \quad (\text{Ом})$$

Визначаємо $R_{\text{екв}}$:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_{\text{пр}} R_{\text{п}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{п}}} = \frac{16,5 \cdot 3,6}{16,5 + 3,6} = 3,002 \quad (\text{Ом})$$

Оскільки $R_{екв}$ менше $R_{д}$, то штучного заземлювача можна було б і не виконувати, але правила вимагають обов'язкової наявності $R_{шт}$, тому $R_{шт}$ приймаємо максимально допустиме рівне 63 Ом.

Визначаємо опір розтікання струму горизонтальної полоси:

$$R_{г} = \frac{k_c \rho_{екв.г}}{2\pi l} \ln \frac{2l_{г}^2}{bt},$$

де: b - ширина горизонтальної полоси = 0,04 м

$\rho_{екв.г}$ - еквівалентний питомий опір для горизонтального заземлювача, його розраховують шляхом інтерполяції.

$L_{г}$ - довжина одного горизонтального заземлювача = 5 м.

Розрахунок $\rho_{екв.г}$ ведемо використовуючи дані з таблиці «Відносні значення еквівалентного питомого опору $\rho_{ст}/\rho_{г}$ двошарової землі для розрахунку опору простого горизонтального заземлювача.

$$\frac{\rho_{екв.г}}{\rho_2} = 1,9$$

$$\rho_{екв.г} = 1,9 \cdot 180 = 342 \text{ (Ом*м)}$$

$$R_{г} = \frac{1,5 \cdot 342}{6,28 \cdot 5} \ln \frac{2 \cdot 25}{0,04 \cdot 0,8} = 119,87 \text{ (Ом)}$$

$$q_{г} = \frac{1}{R_{г}} = 0,083 \text{ (См)}$$

Опір штучного заземлювача :

$$R_{шт} = \frac{1}{\eta \cdot (n \cdot q_{в} + q_{г})},$$

де η - коефіцієнт використання складного заземлювача, його вибираємо з одноіменної таблиці.

$$\frac{h}{l_{в}} = \frac{3,5}{7,2} = 0,48 \quad \frac{a}{l_{в}} = \frac{3,6}{7,2} = 0,5$$

Для визначення η також застосовується метод інтерполяції

$$R_i = \frac{1}{0,425(8 \cdot 0,0225 + 0,083)} = 8,3 \text{ (Ом)} < 10,79 \text{ (Ом)} - \text{ умова виконується.}$$

7.4 Блискавкозахист будівлі і споруд на об'єкті проектування

Захист обладнання тепличного господарства від прямих попадань блискавки здійснюється за допомогою стержневих блискавковідводів, які встановлюються по периметру території.

Радіус захисту r_x блискавковідводу висотою нижче 30 м визначається за формулою:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h \cdot (h - hx)}{h + hx} \quad (7.4)$$

де h – повна висота блискавковідводу, м;

hx – висота об'єкту, який захищається, м.

На теплиці встановлюється 4 блискавковідводи висотою 15 м. Визначаємо зони захисту блискавковідводів.

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 15 \cdot (15 - 4)}{15 + 4} = 13,9 \text{ м;}$$

Ширина внутрішньої зони захисту

$$2bx = \frac{7 \cdot ha - a}{14 \cdot ha - a} \cdot 4 \cdot r_x; \quad (7.5)$$

де a - відстань між блискавковідводами, м;

ha - активна довжина блискавковідводу, м; $ha = h - hx$.

$$2bx = \frac{7 \cdot 11 - 24}{14 \cdot 11 - 24} \cdot 4 \cdot 13,9 = 22,67 \text{ м;} \quad bx = 11,33 \text{ м.}$$

Для теплиці висотою 8 м.

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 15 \cdot (15 - 8)}{15 + 8} = 7,3 \text{ м;}$$

$$2bx = \frac{7 \cdot 7 - 24}{14 \cdot 7 - 24} \cdot 4 \cdot 7,3 = 9,9 \text{ м}; \quad bx = 4,95 \text{ м.}$$

Теплиця входить в зону захисту блискавковідводів.

Розраховуємо захист обладнання, яке розміщене в середині зони захисту.

$$h_0 = 4h - \sqrt{9h^2 + 0,2a^2}, \text{ м}; \quad (7.6)$$

$$h_0 = 4 \cdot 15 - \sqrt{9 \cdot 15^2 + 0,2 \cdot 24^2} = 13,4 \text{ м.}$$

Все обладнання, яке розміщене всередині зони захисту, має висоту меншу 13,4м. За такими даними забезпечується захист тепличного господарства в цілому.

7.5 Система протипожежного захисту на об'єкті проектування

З урахуванням характеристик теплиці, керівник господарства розробляє заходи і несе персональну відповідальність за дотримання вимог пожежної безпеки на робочих місцях та на об'єкті в цілому.

У даному проекті згідно із вимогами СНіП II-2-80 передбачено низку протипожежних заходів:

- наявність двох пожежних кранів продуктивністю 2,5 л/с кожний;
- наявність резервного джерела водопостачання ємністю 50 м³;
- наявність пожежно-охоронної сигналізації.

Інвентар і вогнегасні засоби повинні бути пофарбовані у червоний колір і зберігатися на видних місцях.

На ділянках підвищеної пожежної небезпеки на видних і доступних місцях встановлюють один пінний та один вуглекислотний вогнегасник. До таких ділянок відносяться: ділянка котельні, та ділянка високовольтних випробувань, а також склад ремонтних матеріалів. В таблиці 7.1. наведений перелік первинних засобів пожежогасіння.

Таблиця 7.1. Перелік первинних засобів пожежогасіння

№ п/п	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Місце зберігання
1.	Вогнегасник (вуглекислотний)	шт	2	щит
2.	Багор	шт	2	щит
3.	Лопата	шт	2	щит
4.	Кирка	шт	2	щит
5.	Лом	шт	1	щит
6.	Відро	шт	2	щит
7.	Вогнегасник (хім. пінний)	шт	1	щит
8.	Ящик з піском	шт	2	біля щита

Усі працівники тепличного господарства при поступанні на роботу повинні пройти первинний протипожежний інструктаж. Для забезпечення швидкої евакуації людей, машин, обладнання та інших матеріальних цінностей повинен бути розроблений план евакуації.

У випадку виникнення пожежі, після повідомлення про неї у пожежну охорону, дії робітників господарства повинні бути спрямовані на евакуацію потерпілих, а потім на локалізацію пожежі.

Кожна пожежа повинна розслідуватись правлінням. Для цього голова правління призначає комісію із залученням працівників пожежної охорони, а у випадку необхідності й інших органів. Комісія з'ясовує усі обставини виникнення пожежі, аналізує їх і розробляє необхідні профілактичні заходи.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досліджено систему автоматичного керування температурним режимом в теплиці для вирощування квітів.

В результаті виконання магістерської роботи

- проаналізовано технологічні особливості процесу і технічні засоби системи керування;

- синтезовано математичну модель трубної системи опалення теплиці та визначена її передатна функція по каналу керування температурою повітря;

- встановлено, що ПІ-закон керування може повністю задовольнити вимоги технологічного процесу. Проведено дослідження системи на стійкість, в результаті якого доведено, що система стійка, а отже можливе її використання на практиці;

- запропоновано комплекс технічних засобів для реалізації системи керування, що дає змогу понизити енерговитрати на підтримання технологічно обґрунтованих параметрів мікроклімату в тепличному господарстві;

- техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження результатів магістерської роботи показав високу ефективність та низький ризик при впровадженні. Термін окупності становить близько 2 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Э.А. Алиев. – М.: Урожай, 1985. – 160 с.
2. Бородин Н.Ф. Неделько Н.Н. Автоматизация технических процессов / Н.Ф. Бородин, Н.Н. Неделько, – М.: Агропромиздат. – 1986 г. – 367 с.
3. Брызгалова В. А. Овощеводство защищенного грунта / Под ред. В.А. Брызгалова. – М.: Колос, 1995. – 352 с.
4. Гладкий А.М. Технічні засоби автоматики / А.М. Гладкий. – Київ 2003. р. – 176с.
5. Іваненко В.Ф. Моделювання енерговитрат у тепличному господарстві/ Матеріали десятої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Менеджмент підприємницької діяльності». – Сімферополь. – 3-4 квітня 2012. – С. 51– 53.
6. Іваненко П. П. Закритий ґрунт. / П. П. Іваненко, О. В. Приліпка // К.: Урожай. – 2001. – 360 с.
7. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О.Дудник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – С.
8. Лихацький В. І. Овочівництво / В. І. Лихацький, Ю. Е. Бургарт, В. Д. Васянович. За ред. В.І. Лихацького. – К.: Урожай, 1996. – 359 с.
9. Мартиненко І. І., Лисенко В. П., Тищенко Л. П., Лукач В. С. Проектування систем автоматизації с .г виробництва / – М.: Агропромиздат. – 1995 г. – 367 с.
10. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК / – Київ 2008р. – 330с.

11. Мартыненко И. И. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов / И. И. Мартыненко, Н. Л. Гирнык, В. М. Полищук. – М.: Колос, 1984. – 152 с.
12. Мартыненко И.И. и др. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов / И.И. Мартыненко– М.: Колос. 1984г.
13. Мартыненко И.И. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики / И.И. Мартыненко – М.: Колос, 1981 г. –196 .
14. Марченко О.С. Довідник по монтажу і налагодженню електрообладнання в с.г/ О.С.Марченко. – К.: Урожай, 1994 р – 69 с.
15. Методи і засоби сучасного автоматизованого управління: навчальний посібник / [Лисенко В.П., Головінський Б.Л., Голуб Б.Л., Руденський А.А.] – К.: Видавничий центр НАУ, 2007. – 62 с.
16. Микроклиматические основы тепличного овощеводства. / Пер. с болг. Е.С.Сигаева. – М.: Колос, 1982. – 175 с.
17. Пешко М.С. Системы управления процессами культивации в условиях защищенного грунта / М.С. Пешко, Ф.В. Федотов //Молодой ученый № 8 (43)/2012., т.1. – М.– 2012. – С. 29-30.
18. Польовий А.М. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОТОСИНТЕЗУ ЗЕЛЕНОГО ЛИСТКА / Вісник Одеського державного екологічного університету, 2009, вип.8.
19. Расстригина В.Н Электронагревательные установки в сельскохозяйственном производстве / В.Н Расстригина. – М.: Агропромиздат, 1985 г. – 180 с.
20. Управление проектами / Ильин Н. И., Лукманова И., Немчин А. М. и др. – М., 1996. – 610 с.
21. Шишко Г.Г. Теплицы и тепличное хозяйство: Справочник / Г.Г. Шишко, В.О. Потапов, Л.Т. Сулима, Л.С. Чебанов. К.: Урожай, 1993. – 422 с.