НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

ПОГОДЖЕНО	**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**
Директор ННІ	**Завідувач кафедри**
Енергетики, автоматики і енергозбереження	**автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка**
_____ Каплун В.В	_____ Опришко О.О.
«___»_____ 2025 р.	«___»_____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи керування температури повітря в промисловій теплиці з використанням КТЗ SIEMENS»

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

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

д.т.н, доц. Іващук.В.В

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д-р філософії, асистент Ромащук О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Куліш О.Р.
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка
_____ О. О.Опришко
«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Кулішу Остапу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи керування температури повітря в промисловій теплиці з використанням КТЗ SIEMENS

затверджена наказом ректора НУБіП України від "26"вересня 2024 р. № 1667 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.05.30.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Завдання кафедри на виконання магістерської кваліфікаційної роботи. Наукова література та публікації, що відповідають тематиці магістерської кваліфікаційної роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу підтримання мікроклімату у промисловій теплиці як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження температурного режиму, вентиляції та освітлення.
3. Побудова математичної та імітаційної моделей об'єкта автоматизації.
4. Вибір алгоритму керування та технічних засобів для реалізації автоматизованої системи на базі КТЗ SIEMENS.
5. Створення програмно-апаратного забезпечення системи.
6. Оцінка ефективності та надійності автоматизованої системи.

Дата видачі завдання "26" вересня 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Ромащук О.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Куліш О.Р.

ЗМІСТ

ВСТУП ..... ……4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ..... …..8
1.1 Інформаційний аналіз об'єкта керування та стану автоматизації із використанням функціональних схем……..…..8
1.1.1 Інновації у сільському господарстві……..……..…...11
1.1.2 Розробка функціональної схеми автоматизації……...….16
1.2 Параметричний аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації ..... …..19
1.2.1 Температурний режим при вирощуванні огірків у спорудах закритого ґрунту…….…….....……20
1.2.2 Вентиляція споруд закритого ґрунту…….……...22
1.2.3 Штучне освітлення для огірків у теплиці……..……..……..22
1.3 Мета та задачі випускної магістерської роботи…….…….……...24
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ……26
2.1 Розробка математичної моделі…….……26
2.2 Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації…….…....32
2.3 Визначення передатної функції об'єкта керування……....…..35
2.4 Вибір алгоритму керування об'єктом…….…….….47
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ…….….42
3.1 Вибір технічних засобів……..……..42
3.1.1 Вибір сприймаючого елемента……..……42
3.1.2 Вибір регулюючого органу……...……..47
3.1.3 Вибір виконавчих механізмів……...……50
3.2 Вибір промислового регулятора для реалізації вибраного алгоритму керування…….…….54

3.3 Визначення параметрів налаштування цифрових регуляторів……..…….57
3.4 Розробка програмно-апаратного забезпечення для реалізації
алгоритму керування із використанням контролерів……..……60
3.5 Розробка схем погодження…….....61
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ……..63
4.1 Оцінка якості автоматичної системи керування ……...…63
4.2 Розрахунок надійності системи автоматичного керування…….…..67
РОЗДІЛ 5. СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ……..…71
5.1 Розробка схеми електричної принципової…….….71
5.2 Розробка схеми електричної з'єднань…….….73
5.3 Розробка схеми електричної підключень……....75
5.4 Вибір щита керування…….…….….76
5.5 Вибір пускозахистної апаратури……..……77
РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУТНУВАННЯ…….…..88
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРАЦІ…….....93
7.1 Організаційні і технічні заходи щодо усунення небезпечних та
шкідливих виробничих факторів…….93
7.2. Вибір індивідуальних засобів захисту …….....96
7.3. Забезпечення захисту від пожежі …….....98
ВИСНОВОК ……...99
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ…….....100

ВСТУП

Кліматичні умови України зумовлюють сезонний характер вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті, що унеможливлює їх рівномірне отримання протягом року. Основний обсяг споживання — до 90% — припадає на літньо-осінній період (липень–вересень), тоді як у першій половині року він не перевищує 6%. У несезонний час забезпечення населення овочами є нестабільним.

За таких обставин суттєво зростає значення тепличного овочівництва, яке дає змогу більш рівномірно забезпечувати споживачів свіжою продукцією у зимово-весняний період.

Досягнення високих результатів у вирощуванні рослин у закритому ґрунті вимагає дотримання ряду умов, серед яких найважливішою є підтримка відповідного мікроклімату, оптимального для кожної культури. Для аграрної галузі критично важливими залишаються не лише питання підвищення врожайності, а й ефективне управління витратами, пов’язаними з створенням необхідних умов для росту рослин.

В умовах поточної економічної ситуації, що характеризується стрімким зростанням цін на енергоносії, електроніку та інші матеріали, а також відставанням реалізаційної вартості продукції від темпів зростання витрат, аграрний сектор стикається з серйозними труднощами.

Тепличні господарства відіграють ключову роль у забезпеченні населення овочами в міжсезоння. У розвинених країнах тепличне виробництво є однією з пріоритетних галузей сільського господарства, оскільки дозволяє отримувати врожайність до 50 кг з 1 м², незалежно від погодних умов, тоді як у відкритому ґрунті цей показник становить близько 591 ц/га. У середньому тепличне вирощування дає 35–40 кг з 1 м², а застосування автоматизованих систем регулювання клімату (САР) та методів стимуляції дозволяє досягати показників до 50 кг огірків з 1 м², що забезпечує не лише значне зростання прибутків, а й сприяє швидкій окупності витрат на автоматизацію.

Температура повітря відіграє ключову роль у врожайності овочів у тепличному господарстві. Однак існуючі системи контролю температури мають певні недоліки: вони не враховують температуру на поверхні рослин, вплив сонячного випромінювання, зовнішню температуру, властивості матеріалів огородження та інших факторів, які носять випадковий характер. Щоб тепличне овочівництво стало більш продуктивним і конкурентоспроможним на міжнародному рівні, потрібні суттєві зміни, що принесуть реальну користь. Насамперед, слід активно впроваджувати автоматизацію в тепличних господарствах. Відмова від централізованих котелень і встановлення систем автоматичного регулювання умов для рослин дозволить не лише знизити витрати на паливо і енергоресурси, а й скоротити потребу в людському втручанні в процес. Завдяки сучасним системам можна суттєво підвищити як якість, так і кількість продукції, що неодмінно призведе до зниження її вартості. Це зробить тепличні овочі більш привабливими для споживачів і дасть можливість тепличникам значно збільшити свій прибуток.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Інформаційний аналіз об'єкта керування та стану автоматизації із використанням функціональних схем

Теплиці є найбільш сучасним і ефективним типом споруд закритого ґрунту. Їх основна перевага перед іншими видами укриттів полягає у здатності створювати комфортні умови не лише для вирощування рослин, а й для роботи персоналу та функціонування технологічного обладнання. Завдяки цьому у теплицях підвищується продуктивність праці, покращується культура виробництва, а сільськогосподарські роботи втрачають сезонний характер. На відміну від малогабаритних укриттів і парників, у теплицях агротехнічні заходи можна виконувати без порушення цілісності конструкції, при цьому активно застосовуються різні механізми для догляду за рослинами.

Теплиці класифікують за різними характеристиками: функціональним призначенням, періодом експлуатації, способом вирощування культур, типом світлопрозорого покриття, формою конструкції та способом обігріву.

Вирощування рослин у теплицях має низку переваг:

1. Умови закритого ґрунту дозволяють підтримувати стабільний температурний режим, оптимальний для конкретних культур.
2. Використання різних систем поливу та дренажу сприяє регулюванню вологості субстрату.
3. Є можливість створювати субстрати з відповідними фізико-хімічними властивостями, які повністю відповідають потребам вирощуваних рослин. Для цього використовують садову землю, торф, пісок, штучні матеріали, органічні та мінеральні добрива.
4. Контроль вологості повітря забезпечується за допомогою природної та механічної вентиляції.

5. У зимовий період розвиток рослин підтримується за рахунок додаткового освітлення та внесення поживних речовин.

Разом з тим, тепличне вирощування має й певні недоліки. Насамперед це значні витрати на будівництво теплиць і їхнє обслуговування. Високі затрати також пов’язані зі споживанням енергоресурсів, особливо при цілорічному вирощуванні культур. Крім того, підтримання необхідних умов для росту рослин потребує додаткових вкладень у добрива та засоби захисту.

Основними критеріями при виборі місця для встановлення теплиці є хороше природне освітлення, захист від переважаючих вітрів і оптимальний рівень ґрунтових вод. Глибина залягання ґрунтових вод повинна бути не меншою ніж 1,3–1,5 метра від поверхні землі та залишатися стабільною. У випадку, якщо ґрунтові води розташовані надто близько до поверхні, перед зведенням теплиці необхідно облаштувати дренажну систему або вирити канави для відведення надлишкової вологи. У зонах із підвищеною вологістю навколо теплиці рекомендується організувати водовідвідні системи для дощової води, а за потреби — встановити резервуари для її збору з метою подальшого технічного використання.

Вид теплиці обирають за певними ознаками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація теплиць

За сезонністю	- зимові - весняні
За технологією вирощування:	- грунтові - стелажні - гідропонні
За будівельним ознаками:	- полімерні - дерев’яні - металеві каркаси
По виду огорожі:	- засклені - плівкові
За конструктивними особливостями:	- ангарні і блокові - прямі та арочні

У даному дослідженні об'єктом вивчення є зимово-весняна блочна скляна теплиця площею 1 гектар.

Зимово-весняна блочна теплиця являє собою двосхилу споруду з єдиним внутрішнім об'ємом, у якій бічні суміжні стіни замінені опорними стійками. Така конструкція робить теплиці економічно вигідними при будівництві. Металевий каркас таких споруд відзначається високою міцністю і довговічністю. Крім того, використання спільних систем опалення та поливу дозволяє значно скоротити витрати часу на пересування персоналу в межах великої теплиці, що підвищує ефективність праці.

Блочні теплиці також забезпечують широкі можливості для механізації основних агротехнічних операцій — обробітку ґрунту, догляду за рослинами, збирання врожаю та транспортування продукції. Завдяки значній висоті конструкції, у таких теплицях можливо використовувати сільськогосподарську техніку. Зовнішній вигляд блочної теплиці представлено на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1. Загальний вигляд блочної теплиці

Хоч це може здатися несподіваним, однак скло як матеріал для покриття теплиць має чимало суттєвих переваг:

– його легко знайти, а часто — і дістати безкоштовно;

– воно повністю прозоре та дозволяє легко налаштувати світловий спектр за потреби;

– зручно очищується та обслуговується;

– пошкоджені ділянки можна швидко й просто замінити;

– при необхідності, окремі елементи, як-от дах, легко замінюються іншими матеріалами;

– скло відзначається високою довговічністю, значно більшою, ніж у полікарбонату;

– і, що важливо, скло не схильне до подряпин.

Переваги зимово-весняної теплиці блочного типу:

– велика ефективна площа для вирощування;

– рівномірне освітлення рослин з усіх боків;

– зручність використання засобів дрібної механізації;

– можливість розширення теплиці за рахунок додавання нових прольотів;

– швидка окупність теплиці за рахунок якості урожаю, попиту та його ціни реалізації.

1.1.1 Інновації у сільському господарстві

Сучасний стан аграрного сектору визначається впливом глобальних тенденцій технологічної модернізації, яка не завжди є обґрунтованою або відповідає реальним потребам і ресурсам українських сільськогосподарських виробників. Тому, прагнучи слідувати загальносвітовим підходам до агроінноваційного розвитку, Україна повинна враховувати специфіку вітчизняного агровиробництва та орієнтуватися на захист національних інтересів, зокрема в аспектах технологічної безпеки.

Попри нестабільність у сфері впровадження інновацій, сільське господарство України демонструє прагнення до інтеграції сучасних науково-технічних досягнень у виробничу практику. Це підтверджується впровадженням новітніх технологій у рослинництві, тваринництві та системах енергоощадного землеробства. У сфері рослинництва інновації охоплюють селекційні дослідження, генну інженерію, органічне землеробство,

мікрозрошення, використання супутникових інформаційних систем та нанотехнологій. Детальний розгляд проблем і перспектив застосування цих технологій у рослинництві подано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Використання сучасних технологій у рослинництві

Перспективи	Проблеми
Селекція сільськогосподарських культур	
- покращення сортових якостей; - підвищення стійкості до ґрунтово-кліматичних умов та шкідників; - значний приріст урожайності; - одержання насіння елітних сортів.	- слабка державна підтримка; - відсутність технологічного оснащення; - потреба у фінансуванні; - відсутність технологій створення вихідного селекційного матеріалу.
Генна інженерія та генетично модифіковані організми	
- стійкість рослин до втрат врожаю, хвороб, шкідників; - покращення якості продукції та підвищення рівня врожайності; - стійкість проти гербіцидів; - здатність рослин виробляти власні пестициди; - скорочення числа операцій з догляду та переробки продукції; - економія затрат на вирощування ГМО.	- токсичність генно-модифікованих продуктів; - поява канцерогенних та мутагенних ефектів; - накопичення гербіцидів; - зниження поживних властивостей продукції; - резистентність до антибіотиків; - шкідливий вплив на здоров'я людини – пригнічення імунітету, алергічні реакції.
Органічне землеробство	
- відсутність пестицидів та добрив; - зменшення шкідливого впливу сільськогосподарського виробництва на навколишнє середовище; - відмова від ГМО, антибіотиків.	- відсутність законодавчої підтримки; - потреба у державних дотаціях; - проблеми сертифікації продукції; - відсутність біологічних засобів захисту рослин.
Краплинне зрошення	
- забезпечення оптимального рівня вологості для рослин в посушливих умовах; - економія поливної води, електроенергії, добрив; - зменшення ерозії ґрунту; - можливість освоєння малопридатних для обробітку земель; - зменшення експлуатаційних витрат; - проведення агротехнічних робіт разом з поливом.	- стихійний характер меліорації; - низька державна підтримка та відсутність фінансування програм з мікрозрошення; - відсутність цільової науково-технічної програми з мікрозрошення; - значна вартість іригаційного будівництва; - відсутність та слабке оновлення парку дощувальної техніки; - висока ймовірність засмічення трубок та пошкодження обладнання.
Космічні технології в сільському господарстві	
- визначення дійсних посівних площ; - прогнозування продуктивності валового збору та втрат врожаю; - попередження кризових явищ; - можливість виявлення угідь, прихованих від обліку, і кількість прихованої продукції.	- значна потреба у фінансових інвестиціях; - вимагає великого обсягу науково-дослідних розробок; - потреба у інтелектуальному потенціалі; - необхідність висококваліфікованих кадрів, науковців.
Нанотехнології	
- мікродобрива сприяють збільшенню врожайності; - низька токсичність наноматеріалів; - сприяють прискоренню фотосинтезу рослин та озоненню повітря; - підсилення захисних властивостей рослин.	- недостатність знань про механізм дії нанотехнологій та властивості наноматеріалів; - слабка підтримка розвитку нанотехнологій; - ймовірність токсичної дії наночасток; - проблеми сертифікації нанопродуктів.

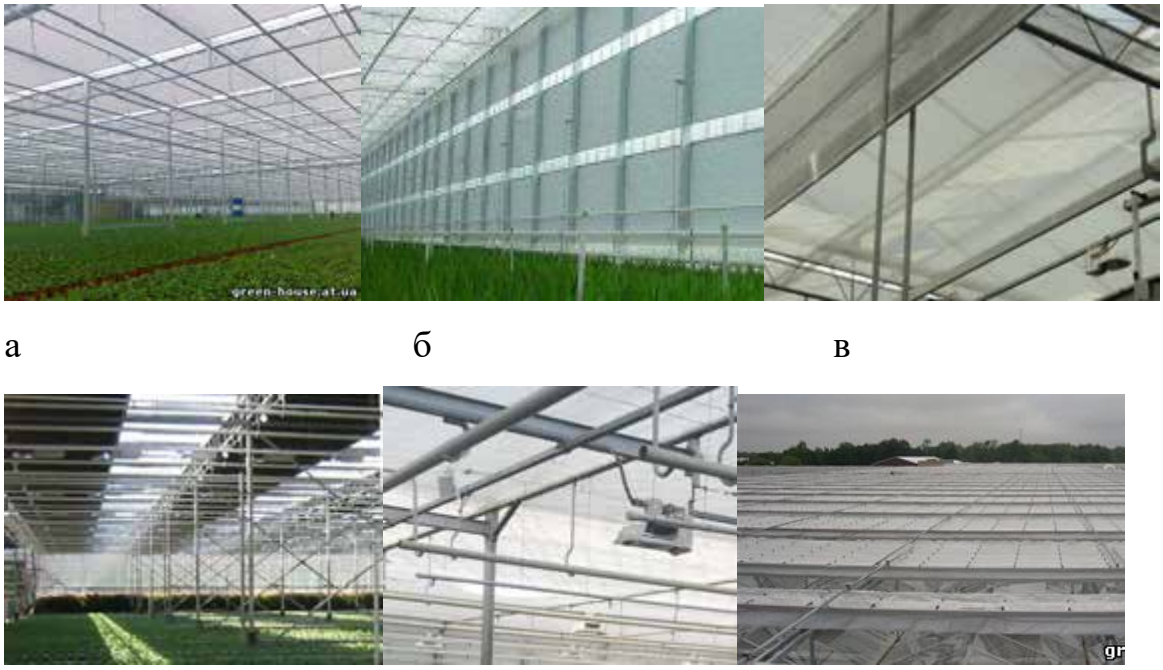
Для досягнення оптимального мікроклімату та раціонального енергоспоживання в роботі тепличного комплексу широко впроваджуються системи зашторювання.

Такі системи виконують низку важливих функцій:

- зменшують проникнення сонячної радіації;
- утримують тепло в холодні ночі та в зимовий період;
- сприяють регулюванню рівня вологості всередині теплиці;

- служать денно-нічним екраном для вирощування квітів, створюючи затемнення в денний час.

Тип системи зашторювання, а також спосіб її встановлення та структура екрану підбираються залежно від бажаного ефекту (рис. 1.2).



а б в

г д е

а – горизонтальні, б – вертикальні, в – подвійні вертикальні, г – екрани для затінення, д – енергозберігаючі екрани, е – зовнішні екрани

Рисунок 1.2. Типи систем зашторювання

Система зашторювання є ключовим елементом сучасної теплиці, який суттєво впливає на формування внутрішнього мікроклімату та сприяє підвищенню енергоефективності. Завдяки їй можна регулювати рівень освітлення, температуру, вологість повітря, а також істотно зменшити втрати тепла (див. табл. 1.3).

Екран виготовлений зі спеціальної поліестерової тканини, в структуру якої інтегровані алюмінієві смужки. Такий матеріал відзначається високою зносостійкістю, придатністю до багаторазового використання без пошкоджень, а в складеному вигляді займає мінімум простору, зменшуючи рівень затінення до мінімуму.

Таблиця 1.3. Типи екранів

Тип екрану	Використання
Енергозберігаючий	Дуже добре підходить для холодного клімату. Екран дає максимальне утримання тепла при мінімальній втраті світла - економія фінансових витрат і скорочення шкідливого впливу опалення на навколишнє середовище. Унікальна структура тканини дає компактний розмір, коли екран не використовується.
Затіняючий	Алюмінієві смужки в тканині екрану забезпечують необхідний рівень відбиття сонячних променів. При цьому гаряче повітря проходить знизу крізь тканину. Є безліч варіантів застосування затінюючих екранів. Там, де клімат особливо жаркий, найкращі результати дає комбінація з декількох екранів.
Комбінований – енергозберігаючий і затіняючий	Найбільш часто використовується тип екрану в сучасному сільському господарстві. При яскравому сонці екран відображає надмірне тепло. Коли зовнішня температура падає, екран утримує тепло, знижує ризик конденсації вологи на рослинах і заощаджує енергію. Відмінний спосіб оптимізації мікроклімату.
Затемнюючий	При вирощуванні рослин, які потребують додаткових періодів сну, використовується затемнюючий екран. Двошарова структура дає більше 99,9% затемнення, що достатньо навіть для самих чутливих рослин. Є варіанти з алюмінієвим або білим верхнім шаром для відбиття сонячних променів і білим внутрішнім шаром.
Світлоповертаючий	Утримання штучного світла всередині теплиці збільшує ефект від роботи асиміляційного освітлення і захищає навколишнє середовище, і Ваших сусідів, від стороннього світла. Спеціальна структура тканини дозволяє вологі і теплу пройти, але затримує світло. Ці екрани виготовляють тільки з вогнезахисних матеріалів.

Застосування термоекрана в теплиці забезпечує низку значних переваг:

- Зменшення тепловтрат на рівні від 43% до 75% — залежно від якості обраного матеріалу,
- Економія теплової енергії до 20%,
- Можливість створення умов затемнення — від легких сутінків до майже повної темряви (ступінь затемнення може варіюватися від 15% до 85%),

- Регулювання вологості всередині теплиці. Вночі екран підтримує стабільний температурний режим, що мінімізує утворення конденсату.

Термоекрани поділяються на два типи: горизонтальні (верхні) та вертикальні (бічні). Найпоширенішими є горизонтальні екрани, що встановлюються під дахом теплиці, тоді як вертикальні, які закривають бокове скління, використовуються рідше.

Горизонтальне зашторювання передбачає монтаж у кожному прольоті та секції теплиці між верхніми поясами ферм, що дозволяє ізолювати коньок теплиці від основного об’єму. Управління екраном здійснюється за допомогою спеціального механізму, який дозволяє відкривати чи закривати полотно повністю або частково відповідно до потреб рослин і погодних умов. Вся система синхронізована, тож екрани у всіх прольотах рухаються одночасно.

Система приводу екрану може бути реалізована двома способами:

- **Рейковий привід** — передбачає з'єднання основного редуктора з рейковими механізмами, які забезпечують хід, відповідний відстані між фермами.
- **Тросовий привід** — більш поширений варіант, де мотор-редуктор обертає вал, на який намотується трос, що рухає полотно екрану, забезпечуючи його відкриття та закриття.

Система управління зашторюванням є централізованою і входить до складу загальної автоматизованої системи керування теплицею. З метою підтримання оптимального рівня освітлення, температурного режиму та зменшення теплових втрат, комп’ютер, керуючись встановленою стратегією та зовнішніми умовами, обчислює необхідне положення екранів для кожного відділення окремо й надсилає команди до відповідних мотор-редукторів.

Управління здійснюється в повністю автоматичному режимі, а оператор у режимі реального часу бачить на моніторі як розрахункове, так і фактичне положення екранів у кожному з відділень. За необхідності оператор має змогу вручну коригувати роботу системи: змінювати параметри, налаштування або задавати фіксовані значення.

Окрім автоматичного режиму, передбачена можливість ручного керування шторами — за допомогою локального щита управління, розташованого безпосередньо в тепличному відділенні або поруч з ним. Проте ручний режим використовується переважно під час технічного обслуговування або ремонтних робіт у верхній частині теплиці.

1.1.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації є ключовим проектним документом, який визначає архітектуру та ступінь автоматизації технологічного процесу на об'єкті. Вона відображає елементи технологічного обладнання, комунікацій, керуючих органів, приладів та засобів автоматизації у вигляді умовних графічних символів, що поєднані відповідними зв’язками. Також на схемі вказуються таблиці позначень і необхідні пояснення.

Графічно функціональна схема умовно поділена на дві частини: у верхній зоні зображується технологічна схема процесу, а в нижній — розміщуються умовні позначення, що відображають розташування приладів, пультів, щитів, контрольних і керуючих пунктів. Усі умовні позначення повинні відповідати стандарту ГОСТ 21.404-85 СПДС — «Автоматизація технологічних процесів. Умовні позначення приладів і засобів автоматизації в схемах».

На функціональних схемах пристрої та прилади автоматизації зображаються розгорнуто — кожен елемент (прилад, блок) подається окремим графічним символом. У верхній частині позначення (наприклад, у колі чи овалу) вказують величину, яку вимірює прилад, і його функціональне призначення, розташовані зліва направо. Нижня частина містить позиційне позначення всього комплекту вимірювальних засобів або окремих його компонентів.

До основних функціональних частин схеми належать:

- **Елемент схеми** — невід’ємна складова, яка виконує певну функцію в системі і не може бути поділена на менші частини з окремим значенням або позначенням.
- **Пристрій** — конструкція, що включає кілька елементів, які працюють разом як єдине ціле.
- **Функціональна група** — набір елементів, які виконують одну функцію, але конструктивно не об'єднані.
- **Функціональне коло** — система елементів, пристроїв або функціональних груп, з’єднаних між собою для реалізації певного каналу дії чи зв’язку.

На даний час немає окремих стандартів, які б регламентували умовні позначення для функціональних електричних схем, проте діють загальні вимоги до оформлення технічної та конструкторської документації, зокрема стандарт ГОСТ 2.702-2011 — «Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем».

Функціональна схема детально відображає роботу окремих функціональних кіл або системи загалом. У порівнянні зі структурною схемою, вона подає більш детальне представлення функціоналу кожного елемента чи пристрою. Всі функціональні частини та зв’язки між ними позначаються на схемі (див. рис. 1.3). Якщо функціональні частини об'єднуються у функціональні групи, їх виділяють штрих-пунктирними лініями з обов’язковим позначенням або назвою кожної групи.

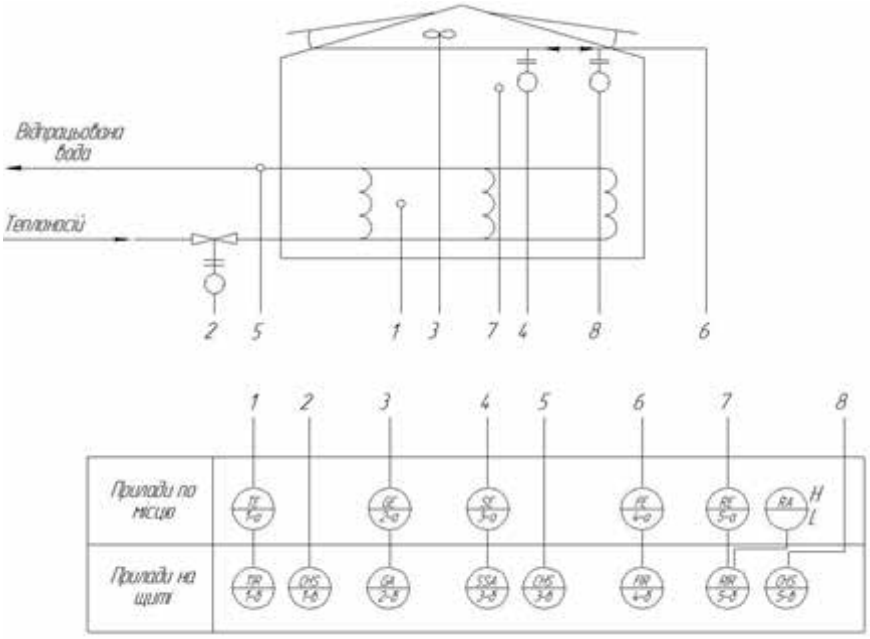


Рисунок 1.3.Фрагмент функціональної схеми САК температурою повітря в блочній теплиці з використанням системи зашторювання:

TE – датчик температури; TIR – реєстрація показів температури; CHS – управління ручним перемиканням (температури); GE – рівень відкриття фрамуг; GA – сигналізація про положення фрамуг; SE – швидкість відкриття/закриття фрамуг; SSA – швидкість вмикання сигналізації, яка повідомляє про відкриття/закриття фрамуг; FE– втрати повітря в теплиці при відкритих фрамугах; FIR – реєстрація показів витрат повітря в теплиці при відкритих фрамугах; RE – датчик освітлення; RIR–реєстрація показів датчика рівня освітлення; RA (H/L) –сигналізація про верхній/нижній допустимий рівень освітлення.

При зниженні температури повітря в теплиці до 20°C спрацьовує температурний датчик. Після фіксації цього значення він надсилає сигнал на контролер, який активує двигун для подачі гарячої води в систему опалення. Коли температура повітря підвищується до 23°C, датчик температури знову реагує, передаючи сигнал на контролер. Той, у свою чергу, дає команду двигуну відкрити фрамуги для провітрювання.

Якщо рівень освітлення досягає верхньої або нижньої межі (15 тисяч люкс), спрацьовує датчик освітлення. Отримавши сигнал, контролер запускає двигун, який управляє системою зашторювання.

1.2 Параметричний аналіз технологічного процесу як об’єкта автоматизації

При впровадженні автоматизованих систем у тепличних господарствах дедалі більше уваги приділяють якісному підтриманню мікроклімату. Вірно підібрана технологія контролю мікроклімату є однією з ключових складових для підвищення врожайності. Крім того, ефективне використання енергоресурсів дає змогу суттєво знизити собівартість продукції. Практика впровадження автоматизованих систем управління свідчить, що на етапі проектування буває складно визначити єдиний критерій для управління. Тому системи мають мати можливість швидко встановлювати критерії під час експлуатації, при цьому методи їх задання повинні чітко відображати агрономічні та економіко-технічні вимоги до системи.
За кількістю вхідних і вихідних параметрів (рис. 1.4) об’єкти поділяють на одномірні — з однією вхідною та однією вихідною величиною, та багатовимірні — з кількома входами і виходами. Зазвичай багатовимірні об’єкти є багатозв’язними системами, у яких кілька регульованих параметрів взаємопов’язані так, що зміна будь-якого з них призводить до інших змін.

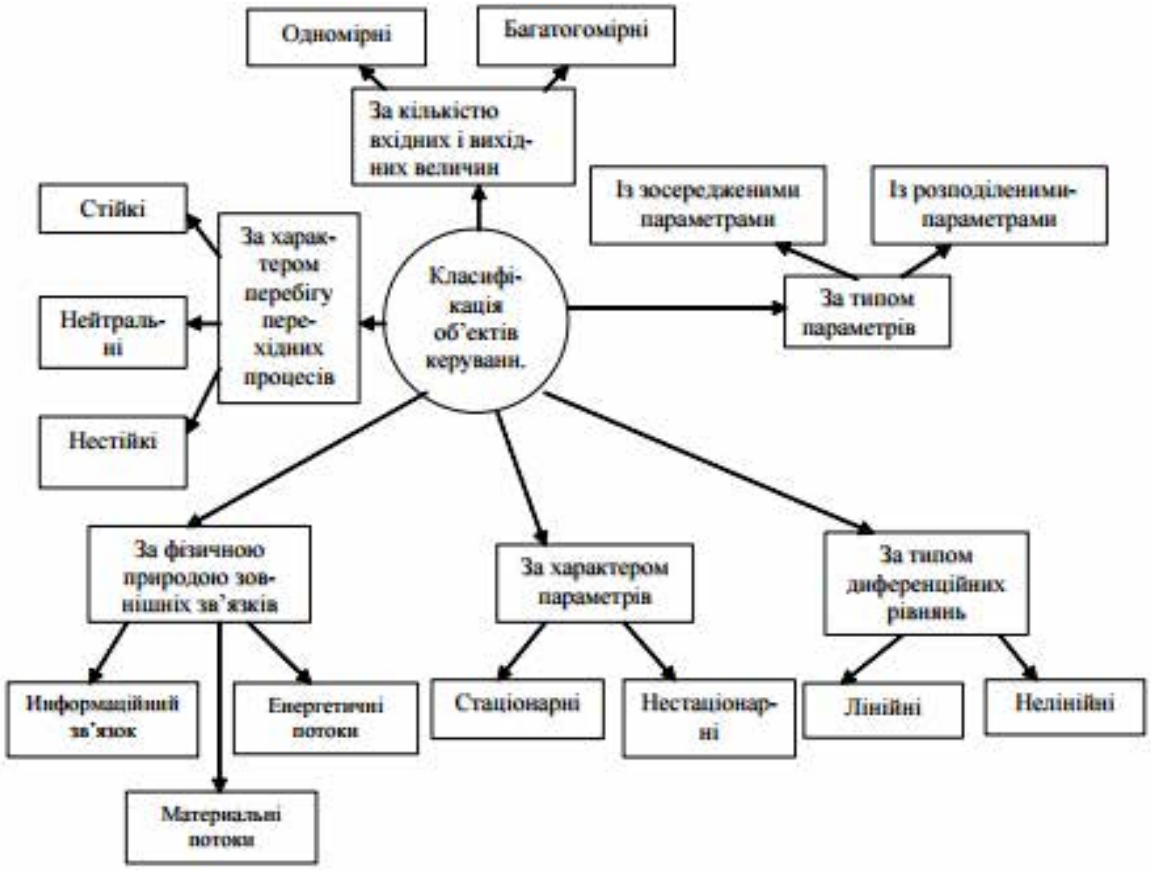


Рисунок.1.4. Класифікація об'єктів керування

1.2.1 Температурний режим при вирощуванні огірків у спорудах закритого ґрунту

Тепличні огірки зазвичай поступаються за смаковими якостями тим, що вирощуються у відкритому ґрунті. Однак сучасний вибір сортів дає змогу легко виростити цей овоч навіть у теплицях. Невибагливі сорти не потребують значних зусиль під час вирощування.

Технологія вирощування огірків у теплиці має свої особливості порівняно з відкритим ґрунтом, але при правильному підході можна отримати якісний урожай. Важливо врахувати, що ця культура потребує достатньо простору, тому рослини слід розміщувати на відстані 40–60 см у рядку, а між рядами залишати 1,2–1,4 м.

Насіння висівають приблизно у березні, використовуючи горщики з родючим ґрунтом, по одному насінині в кожен. Діаметр горщика має бути не менше 8 см.

Для успішного вирощування огірків у теплиці необхідно підтримувати температуру повітря в межах 18–25 °С, при цьому оптимальною вважається температура близько 20 °С.

Найпоширенішою системою опалення, особливо у зимово-весняних блочних теплицях, є трубна. Труби розташовують уздовж бічних стін (п’ять–сім труб по висоті), на ґрунті та безпосередньо під склінням шатра. Труби для пригрунтового обігріву укладають з кроком 0,8 м і з’єднують попарно, що створює зручні проходи для транспортування врожаю за допомогою візків (рис. 1.5).

Для пригрунтового і покрівельного опалення використовують труби діаметром 45, 51 та 57 мм, для бокового обігріву — 51 і 76 мм.

Рисунок 1.5. Труби пригрунтового обігріву в блокової теплиці

Для циркуляції гарячої води в системі опалення встановлюють насоси, що включаються в зворотній трубопровід (при цьому створюється більш сприятливий режим роботи насоса).

Трубна система опалення проста по конструкції, створює рівномірне

температурне поле і, що найголовніше, обігріває не стільки теплицю, скільки рослини. При температурі поверхні труб 90-100℃ частка радіаційного обігріву становить близько 50%. Це особливо важливо в зимовий час при нестачі сонячного випромінювання.

1.2.2 Вентиляція споруд закритого ґрунту

Вентиляція теплиць є ключовим фактором для створення оптимального мікроклімату при вирощуванні овочів у закритому ґрунті. Кожна овочева культура має свої специфічні вимоги до умов вирощування, і при їх недотриманні рослини можуть втратити здатність плодоносити або загинути. Тому важливо створити «розумну теплицю», яка в автоматичному режимі забезпечуватиме ефективне провітрювання.

Для належної роботи автоматичної вентиляції потрібно передбачити механізми автоматичного відкривання і закривання фрамуг. Електричні виконавчі механізми працюють на основі невеликих електродвигунів, які за командою здійснюють рух фрамуг. Щоб уникнути пошкоджень механізму, використовують кінцеві вимикачі у вигляді кнопок, які автоматично вимикають двигун у крайніх положеннях.

Ступінь відкриття вентиляційних фрамуг регулюється залежно від зовнішньої температури, обмежуючись у межах від 15 до 40 % /℃.

1.2.3 Штучне освітлення для огірків у теплиці

Короткий світловий день і недостатня інтенсивність природного освітлення є головними причинами труднощів у вирощуванні розсади та отриманні плодів. Цю проблему можна вирішити, використовуючи штучне електричне освітлення в теплицях.

Основні принципи додаткового освітлення огірків:

- Штучне освітлення слід включати з моменту появи сходів у разі нестачі природного світла;
- Перехід між природним і штучним освітленням повинен бути безперервним;
- Загальна тривалість освітлення огірків за добу має становити щонайменше 10 годин із інтенсивністю близько 15 тисяч люкс;
- Для нормального фізіологічного розвитку рослинам потрібно не менше 6 годин повного темного періоду, інакше вони гальмуватимуть ріст і скидатимуть квіти;
- Вирощування огірків з використанням штучного освітлення має забезпечувати перепад температур між світловим і темним періодами не більший за 6-8 градусів;
- Під час вегетативного росту рекомендується вплив синього світла (400-500 нм), а в період цвітіння та формування плодів – червоного спектра (600-700 нм).

Вплив діапазонів світла:

• 280-320 нм: такий проміжок шкідливий для рослин;

• 320-400 нм: виконує регуляторну роль, потрібно кілька відсотків;

• 400-500 нм: «синій», необхідний для фотосинтезу;

• 500-600 нм: «зелений», є корисним для процесу фотосинтезу листя нижнього ярусу;

• 600-700 нм: «червоний», дія на процес фотосинтезу вкрай висока, добре впливає на регуляцію і розвиток рослин;

• 700-750 нм: «далекий червоний», сильно виражається регуляторна дія, у загальному спектрі достатньо кількох відсотків;

• 1200-1600 нм: спостерігається збільшення швидкості процесу теплових біохімічних реакцій.

Після монтажу теплиці освітлення потрібно обирати, враховуючи наведені раніше параметри. Таким чином:

- При правильно встановленій дозі додаткового освітлення (1,5 тис. люкс на годину) розсада росте майже вдвічі швидше і дає перші плоди на 2-3 тижні раніше звичайного терміну;
- Освітлення огірків у теплиці сприяє збільшенню урожайності на 25-30%;
- Хоча виникають додаткові витрати на електроенергію, загальна собівартість овочів знижується на 15-20% завдяки підвищенню врожайності.

1.3 Мета та задачі випускної магістерської роботи

Метою даного дослідження є підвищення енергоефективності вирощування огірків у закритому ґрунті шляхом впровадження систем автоматизованого регулювання температури, штучного освітлення та зашторювання.

Об’єктом дослідження виступає процес регулювання температури повітря в тепличному середовищі з використанням системи зашторювання.

Предмет дослідження – взаємозв’язки та закономірності функціонування системи керування температурним режимом у теплиці та їхній вплив на енергоспоживання й ефективність технологічного процесу.

Задачі дослідження:

1) дослідити особливості сучасних систем автоматизації процесів керування технологічними режимами вирощування огірків у спорудах закритого ґрунту;
2) визначити впливи різних параметрів на температурний режим у теплиці для вибору способів їх керування;
3) розробити функціональну, структурну схеми автоматизації;
4) розробити математичну модель;
5) розробити та дослідити імітаційну модель об’єкта автоматизації із використанням програмного продукту MathCad;

6) побудувати передатну функцію об’єкта автоматизації та визначити її параметри;
7) вибрати алгоритм керування об’єктом;
8) вибрати пускозахисну апаратуру для реалізації алгоритму керування;
9) розробити і описати принципову схему автоматизації, схему з’єднань і підключень;
10) оцінити енергоефективність вдосконаленої автоматизованої системи керування.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Розробка математичної моделі

Метою цього розділу є створення математичної моделі об'єкта керування з урахуванням впливу параметру управління, а також подальше побудова імітаційної моделі на основі рівняння динаміки зміни цього параметру та її дослідження. Аналіз моделі дозволить визначити часову сталу об'єкта, обчислити транспортне запізнення і знайти передаточний коефіцієнт системи.

Культиваційна споруда (теплиця або її модуль) розглядається як обмежений світлопрозорим огородженням простір (шатер), заповнений повітрям, яке активно циркулює (наприклад, завдяки роботі вентиляторів). У цьому просторі розміщуються рослини (наприклад, розсада овочевих культур) на ґрунтовій поверхні. Через це температурне поле в об'ємі шатра вважається однорідним і рівномірним.

Вирощування рослин у закритому ґрунті потребує використання систем підігріву повітря для створення комфортних умов. Обігрів теплиці здійснюється за допомогою пари, пароводяної суміші або гарячої води. Температура повітря в теплиці (tp) є однаковою по всьому об'єму, а температура води в опалювальних трубах (tv) — це середнє арифметичне значення між вхідною температурою гарячої води (tg) і температурою води на виході з теплиці (ty).

Для побудови статичної моделі технологічного об'єкта за температурним каналом об'єкт поділяється на дві енергетичні ланки — ланку води, яка виконує функцію нагріву, та ланку повітря теплиці, яке підігрівається (див. рис. 2.1).

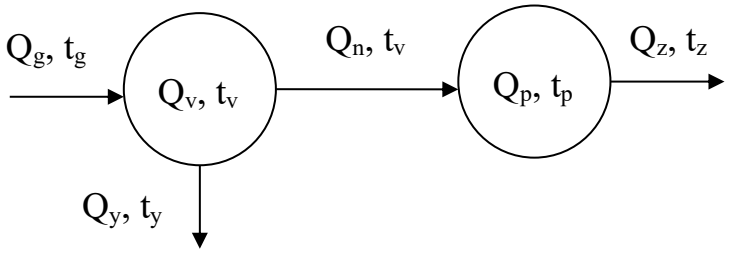


Рисунок 2.1 Схема потоків тепла в теплиці

В статичному режимі значення тепла, що знаходиться у воді, Q_v і тепла, що знаходиться у повітрі теплиці, Q_p лишається незмінним і тому ми маємо два рівняння теплових балансів:

для води:

$$Q_g - Q_y - Q_n = 0, \tag{2.1}$$

і для повітря теплиці:

$$Q_n - Q_z = 0\ , \tag{2.2}$$

де Q_g - тепло введене з водою,

Q_y - тепло виведене з водою,

Q_n - тепло, що перейшло до повітря,

Q_z- тепло втрачене в навколишній простір.

Значення кількості тепла, що поступило в систему опалення теплиці за секунду і вийшло з нею залежить від теплоємності води C_v, продуктивності насоса G_n, густини води ρ_v і відповідної температури води, а значення кількості тепла, що знаходиться в системі опалення ще й від об'єму води в системі V_v. Відповідно до цього:

$$Q_g = C_v G_n \rho_v t_g\ , \tag{2.3}$$

$$Q_y = C_v G_n \rho_v t_y\ , \tag{2.4}$$

$$Q_v = C_v V_v \rho_v t_v \tag{2.5}$$

Кількість тепла, яка знаходиться в теплиці залежить від теплоємності повітря C_p, густини повітря ρ_v, відповідної температури повітря t_p і об'єму теплиці V_p:

$$Q_p = C_p V_p \rho_p t_p \qquad (2.6)$$

Тепло, яке передається від води через стінку труби до повітря і від повітря через скло теплиці до навколишнього повітря рахуємо по закону Фур'є:

$$Q_n = k_1 F_t (t_v - t_p), \qquad (2.7)$$

$$Q_z = k_2 F_c (t_p - t_z), \qquad (2.8)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти теплопередачі через стінку труби системи опалення і через скло поверхні теплиці;

F_t, F_c – поверхня труби системи опалення і засклена поверхня теплиці.

Коефіцієнти теплопередачі рахуються по відомій формулі:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_{tp}}} \qquad (2.9)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{cz}}}, \qquad (2.10)$$

$$k_{1заш} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{tp}}} \qquad (2.11)$$

де α_{vt}, α_{tp}, α_{pc}, α_{cz} – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від води до стінки труби, від стінки труби до повітря теплиці, від повітря теплиці до скла стінки теплиці, від скла до зовнішнього повітря;

λ_t, λ_c, λ_n– коефіцієнти теплопровідності відповідно сталі труби, скла стінки та матеріалу термоекрану;

δ_t, δ_c, δ_n – товщина стінки труби, скла та шару повітря під термоекраном.

Переходимо від статичної моделі до динамічної. На основі рівнянь статики та наведених вище співвідношень формується система диференціальних рівнянь, яка описує зміну теплової енергії у часі для води та повітря в теплиці. Оскільки деякі параметри, такі як об'єми середовищ, густина та теплоємність води й повітря, вважаються сталими, похідні беруться по середній температурі води t_v та температурі повітря в теплиці t_p.

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

$$C_p V_p \rho_p \frac{dt_p}{d\tau} = k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z). \qquad (2.12)$$

Вважаючи, що $t_v = (t_g + t_y)/2$, з наведеного рівняння знайдемо значення температури охолодженої в теплиці води і підставимо в рівняння (2.11). Після спрощення приведемо рівняння (2.11) до виду Коші:

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

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_p V_p \rho_p}. \qquad (2.13)$$

Теплиця, яка займає площу 1 гектар, шириною 20 метрів і має висоту стін 3 метри, обігрівається гарячою водою з температурою t_g 45 °C. Система опалення має об’єм V_v80 м^3, який створюють нагрівальні труби зовнішнім діаметром 48 мм і товщиною стінок δ_t2 мм. Продуктивність циркуляційного насосу G_n складає 270 м^3/год. Теплопровідність сталі λ_t, з якої виготовлена труба, складає 50 Вт/(м град).

Товщина скла теплиці δ_c дорівнює 4 мм, а теплопровідність його λ_c дорівнює 0,74 Вт/(м град). – Значення коефіцієнтів тепловіддачі від води до стінки труби, від стінки труби до повітря теплиці, від повітря теплиці до скла стінки теплиці, від скла до зовнішнього повітря відповідно α_{vt}, α_{tp}, α_{pc}, α_{cz} складають 1000; 15; 7,5; 10 Вт/(м град).

Густина ρ_p і теплоємність C_p повітря дорівнює 1,293 кг/м^3 і 1005 Дж/(кг град). Густина ρ_v і теплоємність C_v гарячої води дорівнює 1005 кг/м^3 і 4174 Дж/(кг град). Температура зовнішнього повітря складає t_z = 5 °C.

Для побудови математичної моделі об'єкта необхідно розрахувати відповідні коефіцієнти теплопередачі. Це виконаємо на основі рівнянь (2.9 – 2.11), враховуючи фізичні одиниці всіх параметрів.

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0.002}{50} + \frac{1}{15}} = 11{,}837, \text{ Вт/(м°C)}$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{7{,}5} + \frac{0.004}{0{,}74} + \frac{1}{10}} = 4{,}189, \text{ Вт/(м°C)}$$

$$k_{1\,защит} = \frac{1}{\frac{1}{7{,}5} + \frac{0.004}{0{,}74} + \frac{0.1}{0{,}24} + \frac{1}{10}} = 10.061, \text{ Вт/(м°C)}$$

Довжина нагрівальних труб при об'ємі системи опалення 80м^3 і внутрішньому діаметрі труби 44 мм складе:

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

а її поверхня теплообміну:

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

Поверхню заскленої теплиці порахуємо, умовно вважаючи форму теплиці прямокутною:

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

а об'єм повітря в теплиці буде дорівнювати:

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

Час запізнення:

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

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

$$a1 = k_1 F_t = 11{,}837 \cdot 7933.9 = 93913.6$$

$$a1_{зашт} = k_{1зашт} F_t = 10.061 \cdot 7933.9 = 79826.6$$

$$a2 = k_2 F_c = 4{,}189 \cdot 13120 = 54959.7$$

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

$$b2 = C_p \rho_p V_p = 1005 \cdot 1{,}293 \cdot 30000 = 3.898 \cdot 10^7$$

Порахувавши всі потрібні коефіцієнти, можемо знайти різницю використаного об'єму газу для нагріву води:

- система без зашторення:

$$a1 = k_1 F_t = 11{,}837 \cdot 7933.9 = 93913.6 \text{ м}^3;$$

- система з використанням зашторення:

$$a1_{зашт} = k_{1зашт} F_t = 10.061 \cdot 7933.9 = 79826.6 \text{ м}^3;$$

- різниця використаного газу для нагріву теплоносія:

$$\Delta a = 93913.6 - 79826.6 = 14087 \text{ м}^3.$$

Тоді система диференційних рівнянь матиме вигляд:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v}(t_g - t_v) - \frac{a_1(t_v - t_p)}{b_1},$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{a_1(t_v - t_p) - a_2(t_p - t_z)}{b_2}. \qquad (2.14)$$

2.2 Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації

За допомогою блоків Constant задаємо значення коефіцієнтів a_1, a_2, b_1, b_2, а також параметрів продуктивності насоса, об'єму повітря в теплиці і температури гарячої води G_n, V_v, t_g. Оскільки температура зовнішнього повітря t_z є збуренням моделі і може використовуватися при подальшому моделюванні керування, її вводимо через блок Step. Час запізнення $\tau_з$ обчислюємо і подаємо

на канал подачі води насосом за допомогою блоку Transport Delay, який дозволяє задавати величину затримки в заданій кількості кроків модельного часу, не обов'язково цілих. Налаштування цього блоку здійснюється через відповідне вікно (рис. 2.1).

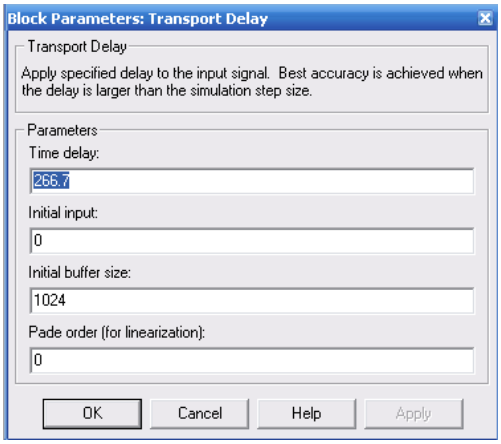


Рисунок 2.1. Вікно налагодження блоку ***Transport Delay***

Параметр Time Delay (Час затримки) визначає кількість кроків модельного часу, на яку затримується сигнал. Параметр Initial Input (Початкове введення) встановлює амплітуду вхідного сигналу під час ініціалізації блоку (за замовчуванням дорівнює 0). Параметр Initial Buffer Size (Початковий розмір буфера) визначає обсяг виділеної пам'яті (у байтах) для збереження затриманого сигналу; значення має бути кратним 8 і за замовчуванням становить 1024. Параметр Padeorder (для лінеаризації Паде, за замовчуванням 0) задається цілим додатним числом для підвищення точності лінеаризації.

Існує також блок керованої затримки Variable Transport Delay, який має два входи: один для затримуваного сигналу, інший — для сигналу керування. Його параметри подібні до попереднього блоку, проте замість Time Delay використовується параметр Maximum Delay — максимальна затримка.

Далі за допомогою математичних блоків Product і Sum виконаємо необхідні операції над змінними правих частин рівнянь. Значення температури повітря в теплиці t_p і води в нагрівальних трубах t_v беремо після блоків Integrator. Множення на сталий коефіцієнт здійснюється блоком Gain.

Результати обчислення правих частин рівнянь передаємо на блоки розв'язання диференційних рівнянь — Integrator.

Попередньо вводимо розраховані коефіцієнти у відповідні вхідні блоки. У блоках додавання і множення налаштовуємо операції додавання, віднімання, множення та ділення. В блоках Integrator задаємо початкові значення температури повітря і води, які подаємо через зовнішню команду External. Коли з'являться додаткові входи до цих блоків, приєднаємо сюди блоки Constant, в яких встановимо початкові значення температур.

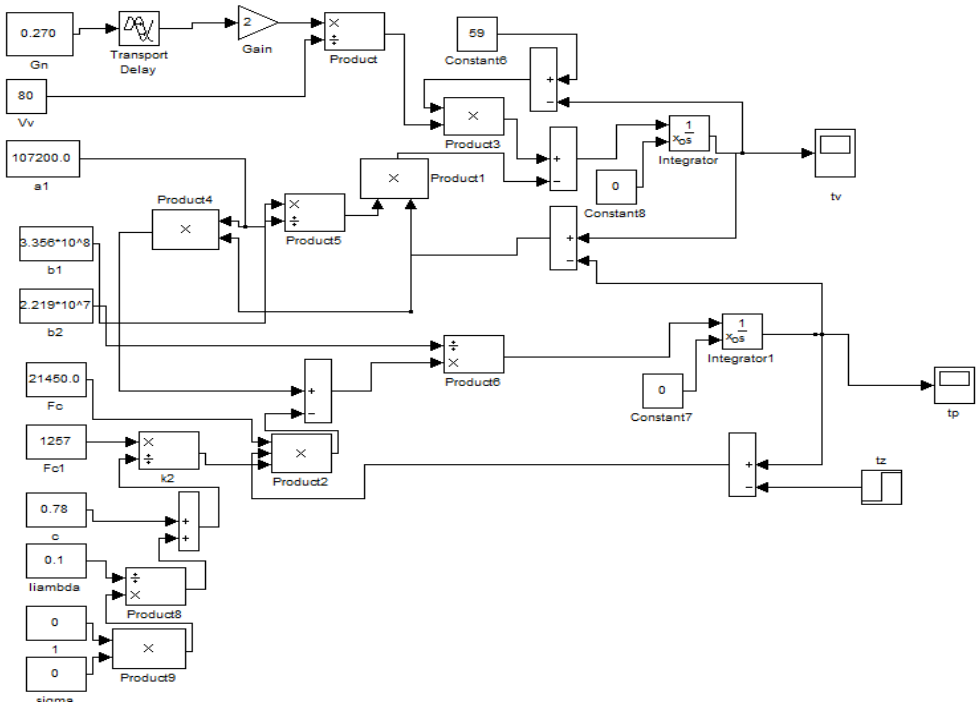
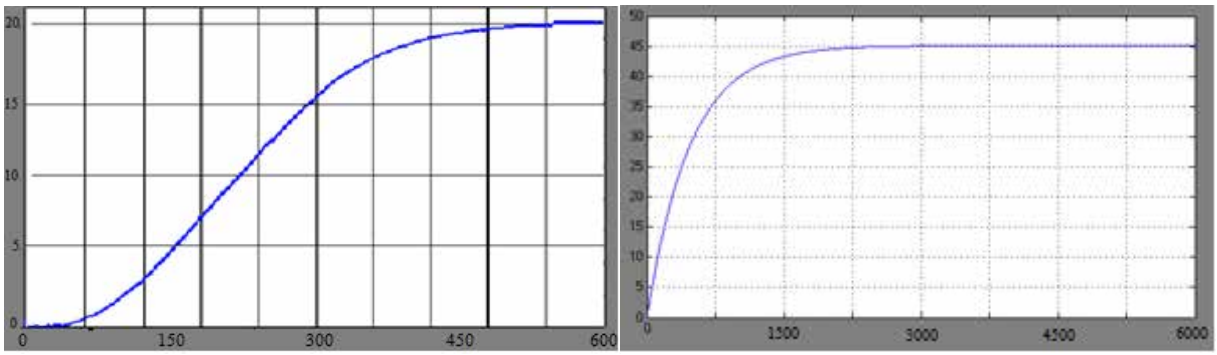


Рисунок 2.2. Схема імітаційної моделі опалення блочних теплиць з використанням системи заштрорювання

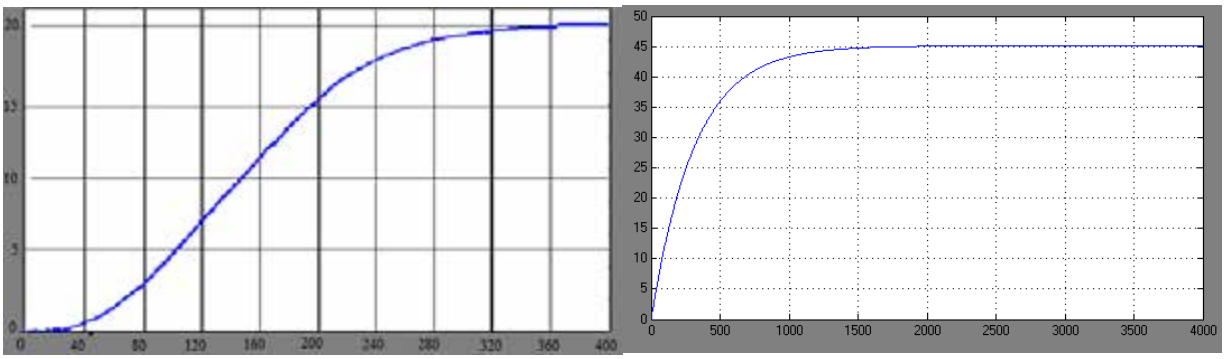
Для виведення результатів використаємо блоки осцилографа ***Scope.*** Так як розгінна крива ТОУ більша ніж 10 секунд, задамося часом моделювання. Для цього в параметрах моделювання **Simulation→Simulation Parameters** у вікні **Stoptime**введемо число 5000 секунд. Якщо далі цього часу не вистачить для досягнення температурою усталеного значення, його слід збільшити. Такий

самий час слід установити і на вкладці параметрів **General** блоку ***Scope*** у вікні команди **Time range.**

Для запуску моделі клацнемо мишкою на кнопці запуску, або виконаємо команду **Start** меню **Simulation**(рис. 2.3)**.**



а



б

а – без системи заштрорювання; б – з використанням системи заштрорювання.

Рисунок 2.3. Розгінна крива зміни температури в приміщенні і води в опалювальній системі блочних теплиць:

2.3 Визначення передатної функції об’єкта керування

Властивості автоматичної системи, що забезпечують підтримання параметрів технологічних процесів або роботи агрегатів у заданих межах, визначають якість роботи цієї системи. Вимоги до параметрів формуються на основі практичного досвіду ведення процесу або умов експлуатації обладнання. Ці вимоги є індивідуальними для кожного конкретного випадку. Проте можна

виокремити загальний перелік показників якості роботи системи, які майже завжди дозволяють оцінити відповідність поведінки параметрів встановленим вимогам.

Властивості об’єктів можна відобразити через їх динамічні характеристики, які, у свою чергу, виражаються через передаточні функції.

Для оцінки характеристик теплиці як об’єкта регулювання температури повітря було використано її розгінну характеристику (рис. 2.5), що показує залежність температури повітря від часу при ступінчастій зміні управляючого впливу. Нормована характеристика наведена на рис. 2.6.

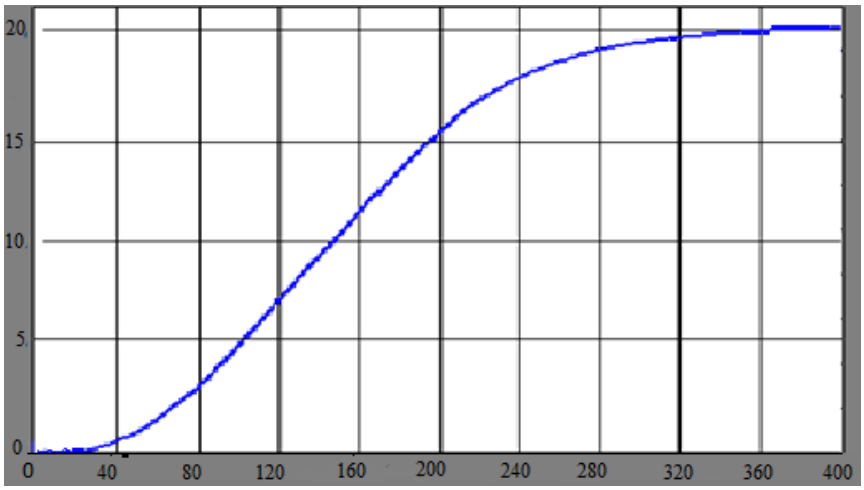


Рисунок 2.5. Розгінна характеристика об’єкту

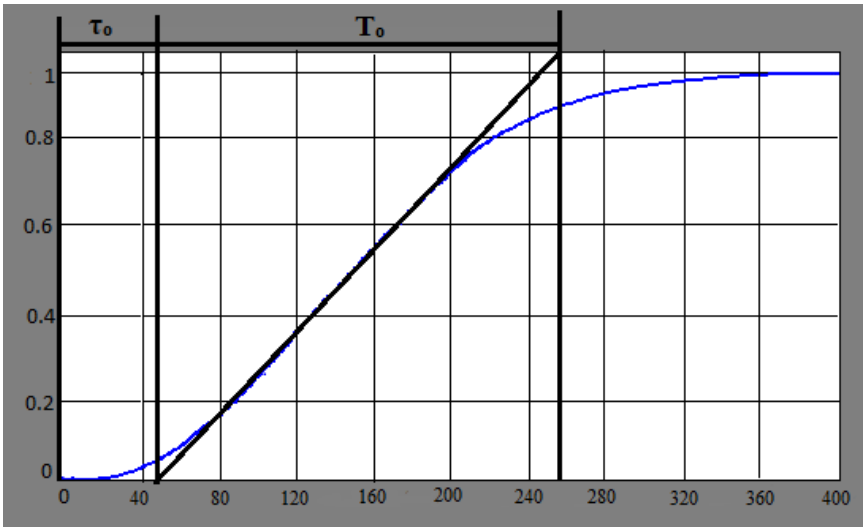


Рисунок 2.6. Нормована характеристика перехідного процесу

За допомогою розгінної характеристики знайдемо час чистого запізнення τ_o=48с, постійну часу T_o= 208с.

Коефіцієнт підсилення об'єкта K_o визначаємо за виразом :

$$Ko = \frac{\Delta T}{\Delta \varphi kp} \tag{2.15}$$

де $\Delta T = T_{max} - T_{min} = 25\,^oC - 18\,^oC = 7\,^oC$ (2.16)

$\Delta\varphi kp = \Delta\varphi kp1 - \Delta\varphi kp2 = 40\% - 15\% = 25\%$ (2.17)

$\Delta Л = Л/10 = 15$ люкс $/ 10 = 1.5$ люкс (2.18)

$$Ko = \frac{7}{25 \cdot 1.5} = 0.186 \approx 0.2 .$$

В цьому випадку передаточну функцію теплиці як об’єкта регулювання температури повітря можна виразити інерційною ланкою з запізненням, яка буде мати вигляд :

$$W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-p \cdot \tau_O}}{T_O \cdot p + 1} = \frac{0.2 \cdot e^{-48 \cdot p}}{208 \cdot p + 1}, \tag{2.19}$$

де p – оператор Лапласа.

2.4 Вибір алгоритму керування об’єктом

Динамічні характеристики об’єктів керування дозволяють розробникам систем на етапі проєктування обрати оптимальний алгоритм керування. Для цього необхідно проаналізувати співвідношення між часом запізнення та сталою часу об’єкта керування (ОК). Якщо відношення $0{,}2 \leq \frac{\tau}{T} \leq 1$,

рекомендується застосовувати лінійний алгоритм керування; при меншому значенні — імпульсний; а при більшому — позиційний алгоритм.

Виходячи з передатної функції ОК, $д\frac{\tau}{\text{Т}} = \frac{48}{208} = 0{,}21$ –, обираємо лінійний алгоритм керування.

Методика вибору оптимального алгоритму базується на визначенні динамічного коефіцієнта регулювання. Оскільки теплиця є статичним об’єктом, розрахунок динамічного коефіцієнта виконується для статичних об’єктів.

$$R_{\text{Д}} = \frac{\text{у}_{\text{I}}}{\text{К}_0 * \text{у}_{max}} \quad , \tag{2.20}$$

де у_{I} – максимальне динамічне відхилення; К_0 – коефіцієнт передачі ОК; – максимально можливе значення збурення по навантаженню (береться у відсотках переміщення регулювального органа).

$$R_{\text{Д}} = \frac{7}{0{,}2 \cdot 40} = 0{,}875$$

Наступним кроком, використовуючи графічні залежності (рис. 2.7), визначаємо алгоритм керування за типовим перехідним процесом. Конкретний типовий перехідний процес обирається на основі вимог до конкретного об’єкта управління.

Відповідно до технологічних вимог, час регулювання об’єкта не повинен перевищувати 1000 секунд, а допустиме відхилення температури — 1°С. Тому доцільно обрати аперіодичний процес, оскільки він характеризується максимально можливим динамічним відхиленням та мінімальним часом регулювання.

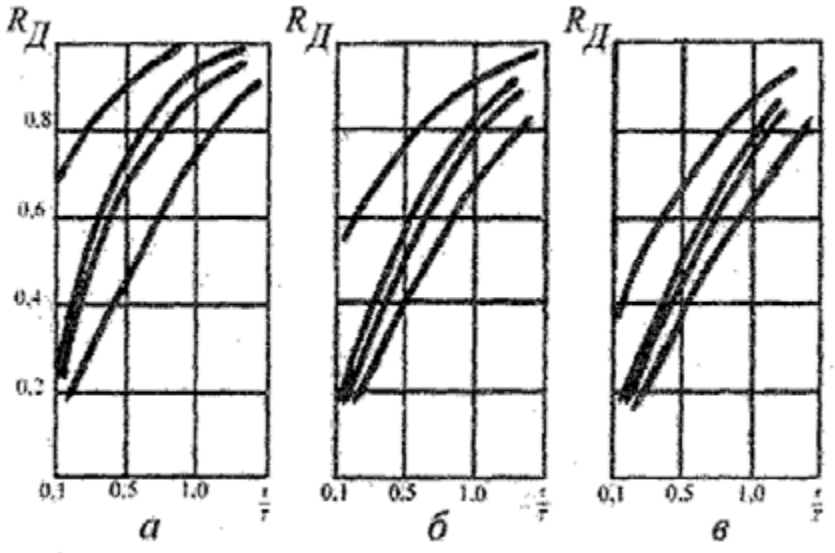
За рисунком 2.7, а, визначаємо пропорційний алгоритм керування. Необхідно перевірити, чи відповідає обраний алгоритм встановленому часу регулювання. За таблицею 2.1 приймаємо відносний час регулювання Ψ = 4,5.

Далі за формулою (2.21) розраховуємо фактичний час регулювання:

(2.21)

$$Трег=\Psi \cdot T0 ,$$

З розрахунків видно, що 216 с < 1000 с.



1 – П-алгоритм керування; 2 – І-алгоритм керування; 3 – ПІ-алгоритм; 4 – ПІД-алгоритм керування.

а – для типового аперіодичного перехідного процесу; б – для коефіцієнта передачі об'єкта типового перехідного процесу з 20%-вим перерегулюванням; в – для типового перехідного процесу з мінімальним інтегральним показником якості.

Рисунок 2.7. Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей ОК

Таблиця 2.1. Відносний час регулювання

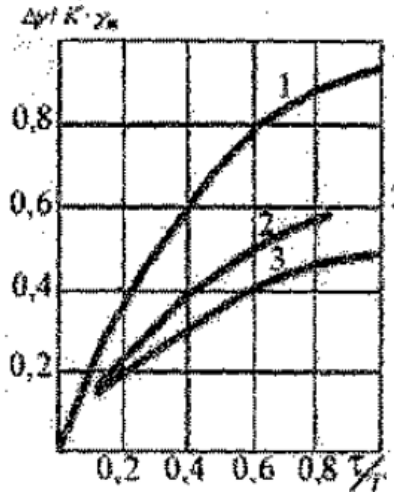
Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання		
		Аперіодичний	Із 20%-ним перерегулюванням	Із мінімальним інтегральним критерієм
Пропорційний	Статичний	4,5	6,5	9,0
	Астатичний	6,0	8,0	–
Пропорційно-інтегральний	Статичний	8,0	12,0	16,0
	Астатичний	14,0	16,0	18,0
Пропорційно-інтегрально-диференційний	Статичний	5,5	7,0	10,0
	Астатичний	9,0	12,0	13,0

Отже, за часом регулювання П-алгоритм керування підходить. Проте, недоліком даного алгоритму є наявність статичної похибки.

$$\Delta = К_0 \cdot у_{max} \cdot k, \qquad (2.22)$$

де k–коефіцієнт для визначення статичної похибки П-алгоритму керування.

Тому за рис. 2.8 визначаємо коефіцієнт для обрахунку статичної похибки.



1 – для типового аперіодичного перехідного процесу; 2 –з 20%-вим перерегулюванням; 3 –з мінімальним інтегральним показником якості.

Рисунок 2.8. Графічні залежності для визначення статичної похибки за умов використання П-алгоритму керування

Використовуючи формулу (2.22) обрахуємо статичну похибку:

$$\Delta = 0.2 \cdot 40 \cdot 0.6 = 4.8℃.$$

Оскільки розрахована статична похибка менша за допустиму (4.8℃>1℃), то П-алгоритм керування не задовольняє вимоги.

Для ПІ-алгоритму за матеріалами табл. 2.1 знаходимо Ψ=8. Використовуючи формулу (2.21) розрахуємо час регулювання:

$$t_{\text{Рп}} = 384 \text{ с}$$

З розрахунків видно, що 384 с <1000 с.

Оскільки ПІ-алгоритм забезпечує необхідний час регулювання і при цьому не має сталих похибок, його варто обрати для застосування. Якщо потрібно переміщати регулюючий орган у положення, пропорційне відхиленню регульованої величини, зі швидкістю, що також пропорційна цьому відхиленню, такий закон регулювання називається пропорційно-інтегральним, а пристрої, які його реалізують — ПІ-регуляторами.

Розрахунок параметрів налаштування регулятора має забезпечити один із типовий перехідних процесів. Проте залежно від значень параметрів налаштування регулятора відхилення від заданих уставок, визначених

технологічними нормами, може бути різним. Тому необхідно виконати точний розрахунок відповідних параметрів налаштування регулятора.

Водночас слід пам’ятати, що параметри об’єкта визначаються за нормованою кривою розгону графічним методом.

Передатна функція ПІ-регулятора має наступний вигляд:

$$W_{reg}(p) = K_r\left(1+\frac{1}{T_{iz}\cdot p}\right), \tag{2.23}$$

$$K_r = \frac{0.7}{K_O \cdot \tau_O / T_O} = \frac{0.7}{0.2\cdot 48/208} = 15.2, \tag{2.24}$$

де K_r коефіцієнт передачі регулятора; T_{iz} - час ізодрому,

$$T_{IZ} = 0.7\cdot T_O = 0.7\cdot 208 = 145{,}6 \approx 146\,\text{с} \tag{2.25}$$

Отже, передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{REG}(p) = 15.2\left(1+\frac{1}{146\cdot p}\right)$$

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Вибір технічних засобів

3.1.1 Вибір сприймаючого елемента

Сприймаючі елементи, що входять до складу регулятора, зазвичай обирають у два етапи:

- на першому етапі, виходячи з типу контрольованого параметра об'єкта управління та умов його роботи, визначають конкретний вид перетворювача;
- на другому етапі, після підбору всіх складових регулятора, за довідниками підбирають його типорозмір.

Датчик слід вибирати так, щоб межі його вимірювання відповідали діапазону змін контрольованої величини, при цьому вони мають бути максимально близькими до цього діапазону. Необхідно також враховувати перевантажувальну здатність датчика та можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. Особливу увагу варто приділяти швидкодії (інерційності) вимірювального перетворювача, яка визначається його постійною часу T_{CE}.

До датчиків зазвичай висуваються такі вимоги:

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима нелінійність — не більше 0,1–3 %);
- висока чутливість;
- стабільність характеристик у часі;
- швидкодія;
- стійкість до хімічних впливів з боку контрольованого середовища та навколишнього оточення (зазвичай первинні перетворювачі розміщують у захисній оболонці);
- мінімальний вплив на контрольований параметр;

- зручність монтажу та обслуговування.

Щодо вибору датчика температури: при обґрунтуванні вибору датчика для регулятора температури повітря у блочній теплиці слід перш за все враховувати діапазон зміни температури повітря, який має забезпечувати проектована система регулювання відповідно до технічних вимог.

Для того, щоб перетворювач не вносив недопустиму динамічну похибку під час стабілізації температури до заданого рівня, його постійна часу T_{CE} повинна бути принаймні вдесятеро меншою за постійну часу об'єкта управління T_O.

Передатна функція нашого об'єкта має наступний вигляд:

$$W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-p \cdot \tau_O}}{T_O \cdot p + 1} = \frac{0.2 \cdot e^{-48 \cdot p}}{208 \cdot p + 1}$$

Діапазон вимірювання температури повітря в теплиці при вирощуванні огірків за технологічними нормами складає 18...25° С.

Найближче до діапазону вимірювань знаходяться межі вимірювання температурного датчика ТСМ – 8034М (рис. 3.1):

Рисунок 3.1. Загальний вигляд датчика ТСМ – 8034М

Постійна часу об'єкта керування становить 208 секунд. З огляду на це, максимальна допустима постійна часу вимірювального

перетворювача, при якій можна ігнорувати його інерційність, не повинна перевищувати 20,8 секунди.

Постійна часу обраного датчика температури ТСМ–8034М складає 20 секунд, що менше за встановлений ліміт.

Таким чином, цей датчик повністю відповідає вимогам, оскільки забезпечує вимірювання температури в необхідному діапазоні. Технічні характеристики пристрою наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики датчика ТСМ-8034М

Вид, тип	ТСМ-8034М
Градування	23
Межі вимірювання,	-50…+85
Показник теплової інерції, с	20

Датчики перетворюють вимірювану температуру у відповідний вихідний сигнал. Багатошарова конструкція чутливого елемента гарантує надійну роботу приладів навіть в умовах підвищеної вологості, забрудненості, а також у присутності масляних речовин та інших хімічних реагентів. Передатна функція датчика має наступний вигляд:

$$\mathrm{Wce(s)} = \mathrm{Kce} \tag{3.1}$$

$$\mathrm{Kce} = \mathrm{Ro} \cdot \alpha = 53 \cdot 4.26 \cdot 10^{-3} = 0.266, \tag{3.2}$$

де Ro – опір ТСМ-8034М при 0℃ (рис. 3.2),α – температурний коефіцієнт опору (для міді α=4,26*10^{-3} (1/℃))

$$\mathrm{Wce(s)} = 0{,}266$$

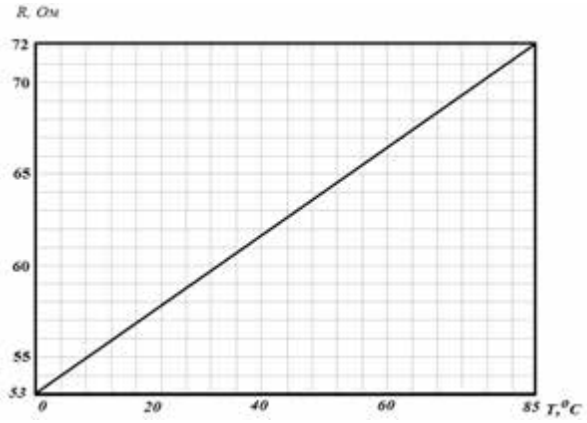


Рисунок 3.2. Статична характеристикатермоперетворювача

За допомогою передавальної функції будуємо динамічну характеристику (рис. 3.3.) термоперетворювача.

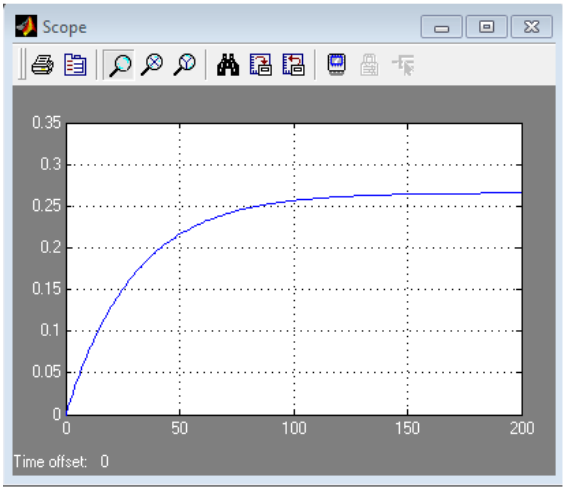


Рисунок 3.3.Динамічна характеристика термоперетворювача

Вибір датчика освітлення. В зимовий період, коли рослини не отримують достатньо природного світла протягом 10 годин, виникає потреба в додатковому джерелі освітлення. Спеціальні фітолампи допомагають компенсувати нестачу світла та забезпечують збалансований розвиток рослин у короткі світлові дні. Інтенсивність освітлення при цьому регулюється автоматично.

Датчик HFR/A (виробництво Німеччина) призначений для вимірювання і контролю рівня освітленості в приміщенні або на конкретному робочому місці. За допомогою фотодіода цей датчик аналізує інтенсивність світла і перетворює її в стандартизований сигнал 0-10 В, який готовий до подальшої обробки. Доступні різні діапазони вимірювання освітленості — від 0-500 Люкс до 0-2000 Люкс.

Пристрій має сучасний дизайн і розрахований на внутрішнє встановлення безпосередньо на стіну або, з використанням адаптера, на DIN-рейку. Датчик працює від живлення 24 В AC/DC. Він ідеально підходить для підвищення енергоефективності, зокрема для автоматизованого контролю освітлення в офісах та на промислових підприємствах (табл. 3.2).

Рисунок 3.4 Зовнішній вигляд датчика освітлення HFR / A

Передаточна функція датчика має вигляд:

$$\mathrm{Wce(s)} = \mathrm{Kce} \tag{3.3}$$

$$\mathrm{Kce} = \mathrm{Ro} \cdot \alpha = 51 \cdot 5.1 \cdot 10^{-3} = 0.26, \tag{3.4}$$

де Ro – опір HFR / A при 0℃,α –коефіцієнт опору (α=5.1$\cdot 10^{-3}$ (1/℃))

$$\mathrm{Wce(s)} = 0{,}26$$

Таблиця 3.2 Технічні характеристики датчика світла HFR / A

Діапазон вимірювання	$< \pm 1{,}5\%$
Температурна залежність	$< \pm 5\%$
Сенсор	Фотодіод
Швидкість реакції	$< 1c$
Напруга живлення	24 В AC/DC
Споживання струму	25 мА при 24 В DC
Розмір	75x75x25 мм
Робоча температура	-10℃…+50℃
Робочий діапазон відносної вологості	0…95%

3.1.2 Вибір регулюючого органу

Регулююча арматура (рис. 3.5) призначена для контролю витрати шляхом зміни об’єму води, що проходить через трубопровід. Поворотні заслінки використовуються на трубах з круглим або прямокутним перерізом для регулювання потоків рідини, пару або газів.

Серед переваг цієї арматури — невелика металоємність, що забезпечує легку вагу, проста конструкція, тривалий термін експлуатації та порівняно доступна ціна.

До недоліків відносять значні крутні моменти на валу, особливо у випадку великих діаметрів труб.

Рисунок 3.5. Зовнішній вигляд заслінки дросельної ЗД-125 під електропривід МЕО

Таблиця 3.3 Технічні характеристики заслінки дросельної ЗД-125

Тип	ЗД-125
Діаметр, мм	125
Тиск, Па	1
Приєднання	Фланцеве
Робоче середовище	Вода
Температура робочого середовища, °С	0 ... 200
Матеріал корпусу	Вуглеводиста сталь

Розрахунок проводився таким чином (середовище регулювання – вода):

ΔP_{max}=14 кг/см^2 – максимальний перепад тиску в лінії еквівалентного опору

y=1г/см^2 - об'ємна маса рідини

v=0.2 с

Q_{max}=440 – максимальна витрата

$K_{y\max}$ - максимальна пропускна здатність

$$K_{y\max} = Q_{\max}\sqrt{\frac{y}{\Delta P_{\max}}} = Q_{\max}\sqrt{\frac{y}{\Delta P_c - \Delta P_{\max}}} = 440\sqrt{\frac{1}{10-4}} = 180 м^3 / год \quad (3.5)$$

Поправку на в'язкість не вводимо, так як індекс в'язкості:

$$Z = 420Q / v\sqrt{K_y} = 420/0.2\sqrt{180} > 1000 \quad (3.6)$$

Отже вибираємо регулюючий орган з умовним діаметром D_y=125 мм та пропускною здатністю $К_{ув.п.}$=250м^3/год (умова $К_{ув.п.}$>1.2 $К_{ув.max.}$>1.2*180=216 виконується, оскільки 250>216).

Далі знаходимо робочу ділянку витратної характеристики. Для цього проведемо розрахунки:

1) Знаходимо пропускну здатність лінії еквівалентного опору:

$$K_{y.л} = Q_{\max}\sqrt{\frac{y}{\Delta P_{л\max}}} = 440\sqrt{\frac{1}{4}} = 220 м^3 / год \quad (3.7)$$

2) Відношення перепаду тиску на РО при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = K_{у.в.п.} / K_{у.л.} = 250/220 = 1.14 \quad (3.8)$$

3) Уточнення перепаду тиску на виконавчому пристарої:

$$\Delta P_{в.п.} = \Delta P_с/(1+n^2) = 10/(1+1.14^2) = 4.35 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.9)$$

4) Витрату рідини через ВП у разі перепаду тиску на ньому $\Delta P_{в.п}$:

$$Q_{в.п.} = K_{у.в.в.} = \sqrt{\frac{\Delta P_{в.п.}}{у}} = 250\sqrt{\frac{4.35}{1}} = 521 м^3 / год \quad (3.10)$$

5) Відносну витрату рідини (максимальну та мінімальну):

$$\mu_{\max} = Q_{\max} / Q_{в.п.} = 440/521 = 0.84 \quad (3.11)$$

$$\mu_{\min} = Q_{\min} / Q_{в.п.} = 220/521 = 0.422 \quad (3.12)$$

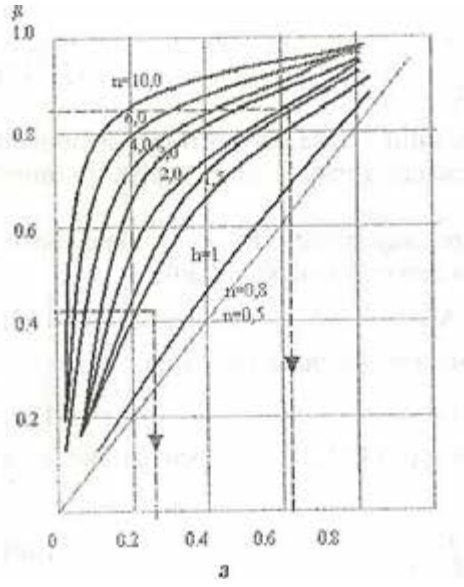


Рисунок3.6. Витратні характеристики для регулюючих клапанів

За графіком (рис. 3.6) вибираємо витратну характеристику, згідно з якою відносний хід затвора регулюючого органа:

$$l_{max}=0.73 \qquad l_{min}=0.29,$$

За графіком (рис.3.7) здобуваємо перепад тиску (його відносне значення):

$$\beta_{max}=0.9;\ \beta_{min}=0.6;$$

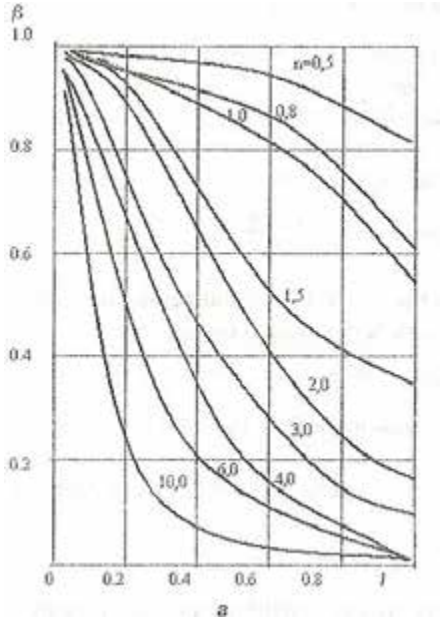


Рисунок 3.7. Залежність перепаду тиску від ходу затвора для регулюючих клапанів

Абсолютне значення перепаду тиску визначаємо за виразом:

$$\Delta p_{max}=\beta_{max}\Delta P_c=0.9*10=9.0 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.13)$$

$$\Delta p_{min}=\beta_{min}\Delta P_c=0.6*10=9.0 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.14)$$

Отже, розрахувавши необхідний регулюючий орган, отримуємо вихідні дані для вибору виконавчого механізму.

3.1.3 Вибір виконавчих механізмів

Виконавчий механізм (М1) — електричний однообертовий (МЕО) — це електромеханічний пристрій, призначений для приводу запірно-регулюючої трубопровідної арматури в системах автоматичного регулювання технологічних процесів (забезпечує роботу фрамуг). Принцип його роботи полягає у перетворенні електричної енергії в обертальний рух вихідного валу відповідно до сигналу, що надходить від регулюючого або керуючого пристрою.

Виконавчі механізми МЕО встановлюються безпосередньо біля регулюючих пристроїв і з'єднуються з ними жорстко за допомогою тяг та важелів.

На основі таблиці технічних характеристик однообертових виконавчих механізмів, для вибору був обраний двигун типу МЕО 4/100, параметри якого наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Технічні характеристики МЕО 4/100

Тип	МЕО 4/100
Номінальний момент на валу, Н*м	39.2
Пусковий момент, Н*м	58.8
Час одного оберту, с	100
Максимальний кут повороту вих. валу, град.	90
Напруга живлення, В	220
Споживана потужність, В*А	64
Габаритні розміри, мм	260х330х300

Передатна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W\text{вм}(s) = \frac{\text{Квм}}{s} \qquad (3.15)$$

$$\text{Квм} = \frac{1}{\text{Твм}} = \frac{1}{100} = 0.01, \qquad (3.16)$$

де Твм – час одного оберту виконавчого механізму.

$$W\text{вм}(s) = \frac{0.01}{s}$$

За допомогою передавальної функції будуємо динамічну характеристику (рис. 3.8) виконавчого механізму.

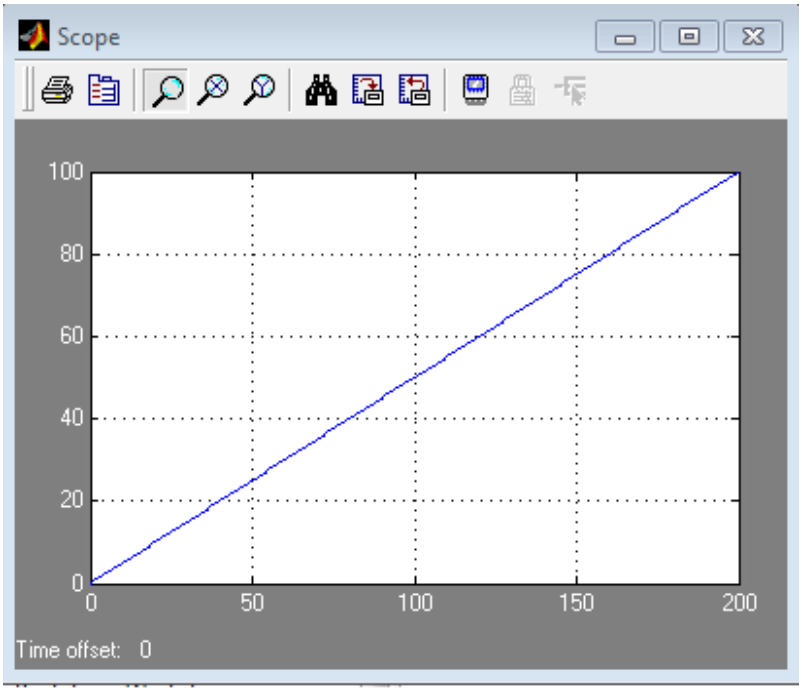


Рисунок 3.8.Динамічна характеристика виконавчого механізму МЕО-4/100

При підвищенні чи зниженні фактичного значення рівня освітлення від заданого приводиться в рух механізм роботи системи заштрорювання. Для регулювання роботи системи заштрорювання обираємо мотор-редуктор (М3) типу (рис. 3.9), технічні характеристики якого наведено у табл.3.5.

Рисунок 3.9. Зовнішній вигляд мотор-редуктора Radicon МЦ2С-40 М

Конічно-циліндричний мотор-редуктор виготовлений шведською компанією Benzlers. Вхідний та вихідний вали редуктора Radicon розташовані під прямим кутом 90 градусів, через що таку конструкцію іноді називають кутовим мотор-редуктором.

Корпус редуктора Benzlers Radicon виконаний із сірого чавуну, що дозволяє ефективно гасити вібрації та відводити тепло. Посадкові місця підшипників зберігають свою форму і не піддаються деформації. Циліндричний порожнистий вихідний вал забезпечує швидкий і зручний монтаж редуктора на обладнанні.

Таблиця 3.5 Технічні характеристики мотор-редуктора МЦ2С-40М

Тип мотор-редуктора	Radicon МЦ2С-40 М
Потужність, кВт	0.5
Номінальний струм, А	3.1
Частота обертання, $хв^{-1}$	30 – 60
Тривалість роботи за добу, год	24

Передатна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W_{\text{вм}}(s) = \frac{К_{\text{вм}}}{s} \qquad (3.17)$$

$$\text{Квм} = \frac{1}{\text{Твм}} = \frac{1}{90} = 0.011, \quad (3.18)$$

де Твм – час одного оберту виконавчого механізму.

$$W\text{вм}(s) = \frac{0.011}{s}$$

3.2 Вибір промислового регулятора для реалізації вибраного алгоритму керування

Щоб правильно обрати центральний контролер, потрібно точно визначити кількість аналогових і цифрових входів та виходів. Для обробки цифрових сигналів потрібні входи, розраховані на постійну напругу 24 В.

Нижче наведено перелік необхідних цифрових та аналогових входів і виходів:

1. Цифровий вхід – сигнал автоматичного режиму роботи.
2. Цифровий вхід – сигнал ручного режиму роботи.
3. Цифровий вхід – сигнал аварійної зупинки.
4. Цифровий вхід – сигнал аварії насоса 1.
5. Цифровий вхід – сигнал аварії насоса 2.
6. Цифровий вхід – сигнал «Сухий хід» насоса 1.
7. Цифровий вхід – сигнал «Сухий хід» насоса 2.
8. Цифровий вхід – блокування сигналу «Сухий хід».
9. Цифровий вихід – реле «Загальна аварія».
10. Цифровий вихід – сигнал роботи насоса 1 в автоматичному режимі.
11. Цифровий вихід – сигнал роботи насоса 2 в автоматичному режимі.
12. Аналоговий вхід – сигнал від датчика тиску 4-20 мА на вході насосної установки.
13. Аналоговий вхід – сигнал від датчика тиску 4-20 мА на виході насосної установки.

14. Аналоговий вихід – керуючий сигнал частоти перетворювача частоти насоса 1.

15. Аналоговий вихід – керуючий сигнал частоти перетворювача частоти насоса 2.

16. Канал зв’язку RS-485.

17. Profinet LAN (Ethernet) для підключення панелі оператора.

Більшість програмованих логічних контролерів (ПЛК) не оснащені вбудованим дисплеєм та клавіатурою. Для зручної взаємодії технічного персоналу з інтерфейсом необхідно підключити до контролера окрему панель оператора. Програмування та діагностика контролера здійснюються через підключення Ethernet-кабелю до ноутбука або за допомогою шини RS-485 до спеціалізованих пристроїв. Більшість ПЛК підтримують з’єднання з іншими пристроями через інтерфейси RS-485, RS-232, Ethernet або ProfiBus.

Програмування контролера виконується із застосуванням стандартизованих мов за нормами МЕК (IEC61131-3). Ці мови поділяються на графічні та текстові:

Графічні:

- PLC SFC — мова діаграм станів, використовується для програмування автоматів;
- LD — мова релейних схем;
- PLC FBD — мова функціональних блоків.

Текстові:

- IL — асемблер;
- ST — мова, схожа на Паскаль.

Відповідно до теми роботи, я використовую ПЛК Siemens. Найпоширенішими контролерами для систем такого типу є Siemens серії S7-1200 (рис. 3.8). Однією з головних переваг цього контролера є його модульна конструкція, що дозволяє легко підключати додаткові модулі тієї ж серії.

Рисунок 3.10 SIEMENS S7-1200 (Зовнішній вигляд)

У Таблиця 3.6. показано технічні характеристики даного контролера.

Таблиця (3.6)

Параметри	Контролер Siemens S7-1200
Напруга живлення	24 VDC
Дисплей	-
Пам’ять	1 Мбайт
Тип дискретних виходів	Оптореле
Цифрові виходи	10
Цифрові входи	14
Аналогові виходи	-
Аналогові входи	2 (0-10V)
Інтерфейс RS-485	-
Ethernet	1
Мова програмування	CSL, FBD, LAD
Максимальна напруга комутації	220V
Комутуючий струм	2A
Струм, що споживає	400мА

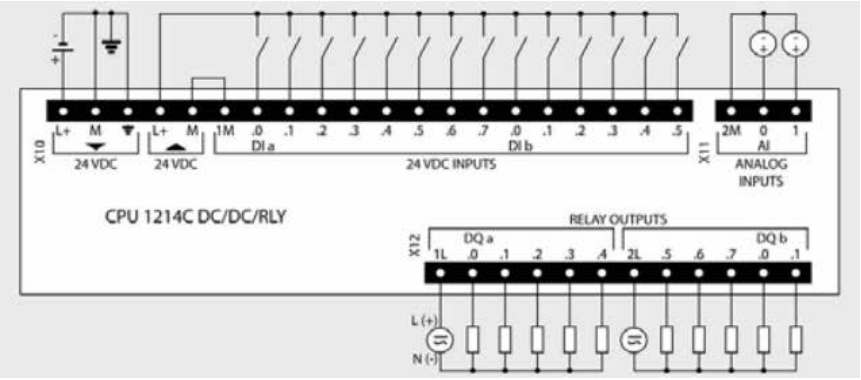


Рисунок.3.11 SIEMENS S7-1200 CPU1214C DC/DC/RLY (Схема підключення)

3.3 Визначення параметрів налаштування цифрових регуляторів

Вибір оптимального періоду квантування T_n є однією з ключових задач при створенні цифрових систем керування. При зменшенні часу квантування точність керування зростає, проте збільшується навантаження на мікропроцесорну ЕОМ. Якщо ж збільшити час квантування, втрачається важлива інформація про сигнал, що може ускладнити або навіть зробити неможливим відтворення вихідного сигналу на основі дискретних вибірок. Тому постає завдання знайти оптимальний період квантування T_y, який би задовольняв ці протилежні вимоги.

Відповідно до теореми Котельникова (імпульсної теореми), для безпомилкового відтворення сигналу, як свідчить аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, мінімальна частота квантування має бути не меншою за $2\omega_c$, де ω_c — максимальна частота вхідного сигналу, що присутня в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема говорить, що якщо сигнал не містить частот, вищих за ω_c рад/с, його повністю можна відновити за значеннями, виміряними у дискретні моменти часу з інтервалом:

$$T_ц \leq \pi/\omega_c \, . \qquad (3.19)$$

У дійсності сигналу з обмеженим спектром у системах керування фізично не існує. Всі фізичні сигнали містять у собі гармоніки, які покривають діапазон частот до ∞.

Але амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, тому при заданій точності відтворення сигналу можна вважати, що він має обмежений спектр. Цю межу спектра визначають за формулою (3.20):

$$\left| W_{зам.н.ч.}(j\omega) \right| \leq \theta_{зад.}, \qquad (3.20)$$

де $\left| W_{зам.н.ч.}(j\omega) \right|$ - амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

$\theta_{зад.}$ – необхідна точність, яка повинна бути забезпечена на виході системи.

Розрахунок часу дискретизації регулятора. Використовуючи пакет Mathcad було визначено найвищу частоту вхідного сигналу ω_c та час квантування регулятора, який би задовольнив поставлені вимоги. Лістинг програми показано на рис. 3.12.

$K0 := 0.2 \qquad Kv := 15.2$

$T0 := 208 \qquad Tv := 146$

$q := 0.1 \qquad w := 1$

Given

$$\frac{Kv \cdot K0}{\sqrt{\left(1 + Kv \cdot K0 - Tv \cdot T0 \cdot w^2\right)^2 + (Tv + T0)^2 \cdot w^2}} = 0.1$$

$Find(w) = -0.016$

$$T \le \frac{\pi}{w}$$

$$T := \frac{\pi}{0.016} = 196.35$$

$T \le 196$

Рисунок 3.12. Лістинг програми розрахунку параметрів налаштування регулятора

Використовуючи пакет Matlab було отримано амплітудно-частотну характеристику системи (рис. 3.13).

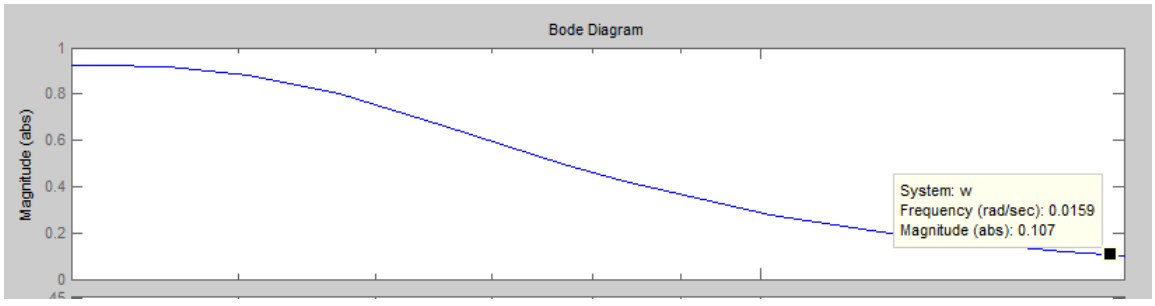


Рисунок 3.13. Амплітудно-частотна характеристика системи

Отже, на основі вищевикладених розрахунків, час опитування регулятором сигналу повинен бути менший 196 с.

3.4 Розробка програмно-апаратного забезпечення для реалізації алгоритму керування із використанням контролерів

Контролер в своїй базовій комплектації не в повній мірі може задовільнити наші потреби, так як в ньому відсутні деякі аналогові виходи для керування частотою перетворювача частоти, тому необхідно додатково добавити модуль вводу-виводу аналогових сигналів серії SM-1232 (рис. 3.14).

Рисунок 3.14 SIEMENS SM-1232 (Зовнішній вигляд)

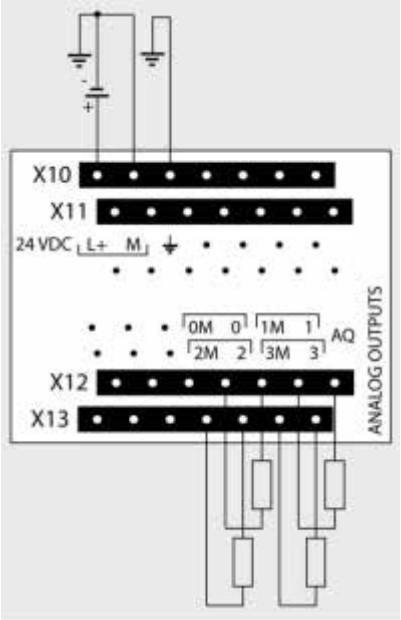


Рисунок 3.15 SIEMENS SM-1232 (Схема підключення)

Як ми бачимо з (рис. 3.15) даний модуль має чотири аналогових виходи.

Так як в центральному контролері відсутній RS-485, нам необхідно додати модуль CM1241 (рис. 3.16), який включає в себе RS-485.

Рисунок 3.16 SIEMENS CM1241 (Зовнішній вигляд)

3.5 Розробка схем погодження

Контролер призначений для вимірювання, контролю та регулювання температури за допомогою первинних перетворювачів — терморезисторів із номінальними статичними характеристиками (НСХ) згідно з ГОСТ 6651-2009 або термоелектричних перетворювачів із НСХ за ГОСТ Р 8.585-2001. Крім того, він може працювати з іншими неелектричними величинами, які попередньо перетворені у постійні електричні сигнали (струм або напруга) за ГОСТ 26011-80 або представлені у вигляді активного опору.
Для узгодження фізичних величин між входом і виходом приладів використовуються відповідні схеми узгодження.

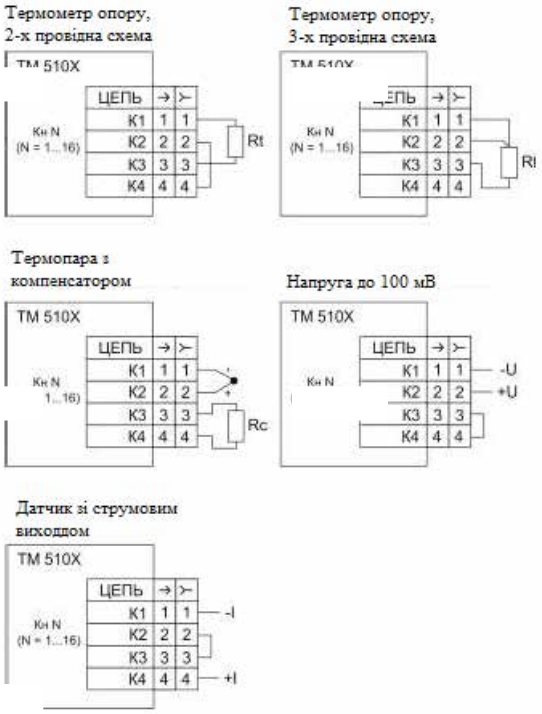


Рисунок 3.17. Схема електрична підключень

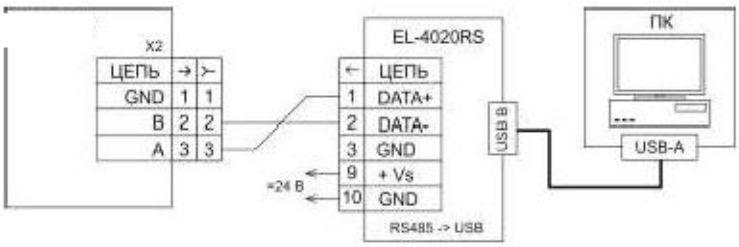


Рисунок 3.18. Схема електрчна підключень до ПК по RS-485

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Оцінка якості автоматичної системи керування

При проєктуванні систем автоматичного керування (САК) необхідно забезпечити їхню стійкість із певним запасом, щоб зміни параметрів системи під час її роботи не призводили до нестабільності. Система має мати визначений запас стійкості, який характеризується відстанню параметрів системи від межі стійкості. Оцінку стійкості системи можна провести за допомогою критеріїв стійкості, використовуючи імпульсну теорему.

Структурно-функціональна схема САК для регулювання температури повітря в блочній теплиці наведена на рис. 4.1.

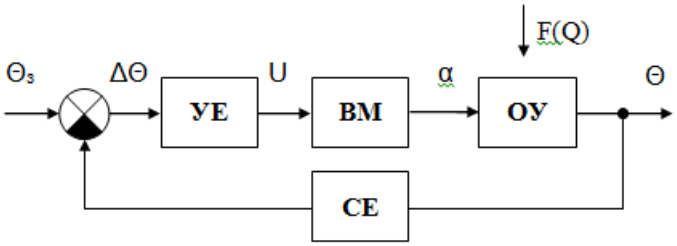


Рисунок 4.1. Структурно-функціональна схема САК температурою повітря в блочній теплиці:

СЕ – сприймаючий елемент (первинний вимірювальний перетворювач); УЕ – управляючий елемент (регулятор); ВМ – виконавчий механізм; ОУ – об'єкт управління.

Розглянемо структурно-алгоритмічну схему САК температури повітря та ґрунту в теплиці, яка зображена на рис. 4.2.

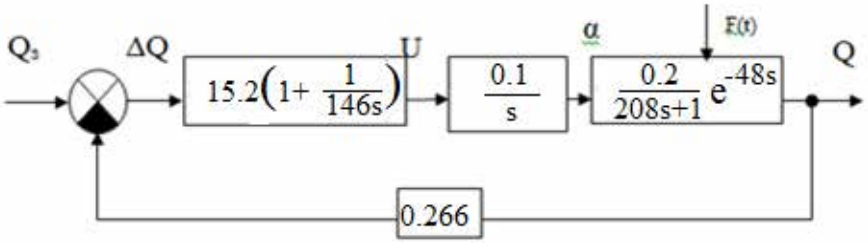


Рисунок 4.2. Структурно-алгоритмічна схема САК.

Чітку кількісну оцінку запасу стійкості як за амплітудою, так і за фазою, отримують за допомогою методу Найквіста. Спершу необхідно визначити передаточну функцію розімкнутої системи САК, щоб побудувати її розімкнену характеристику.

Передаточна функція розімкнутої системи обчислюється шляхом послідовного множення передаточних функцій окремих ланок. Передаточна функція САК, що відповідає тематиці роботи та структурно-алгоритмічній схемі, визначається за формулою:

$$W_{ROZ}(p) = W_O(p) \cdot W_d(p) \cdot W_{REG}(p) \cdot W_{BM}(p) \cdot W_d(p) \cdot W_{BM}(p) \quad (4.1)$$

$$W_{ROZ}(p) = \frac{0.2}{208p+1} \cdot e^{-48p} \cdot 15.2 \cdot \left(1 + \frac{1}{146 \cdot p}\right) \cdot \frac{0.01}{p} \cdot 0.266 \cdot \frac{0.011}{p} \cdot 0.26;$$

Побудуємо амплітудно-фазочастотну характеристику (АФЧХ) розімкнутої системи автоматичного керування (рис. 4.2). Згідно з критерієм Найквіста, замкнута система буде стійкою, оскільки вона є стійкою в розімкненому стані, а її АФЧХ не охоплює точку з координатами (-1; j0). Дійсна вісь перетинає АФЧХ розімкненої системи в точці (-0,2; j0). Запас стійкості по амплітуді означає запас за коефіцієнтом передачі К розімкненої системи відносно його критичного значення. Запас стійкості по модулю визначається як відстань між точкою перетину АФЧХ розімкненої системи з від'ємною дійсною віссю (-0,2; 0) та точкою (-1; j0). Запас стійкості по модулю в децибелах розраховується за формулою:

$$\Delta L = 20\lg\frac{1}{\left|W_{ROZ}(j \cdot \omega_O)\right|} = 20\lg\frac{1}{\left|-0.2\right|} = 13.9 \text{ дБ.} \quad (4.2)$$

Запас стійкості по фазі показує на скільки повинно зрости запізнення по фазі в системі на частоті зрізу ω_c при незмінному передаточному коефіцієнті на цій частоті, щоб система опинилася на границі стійкості.

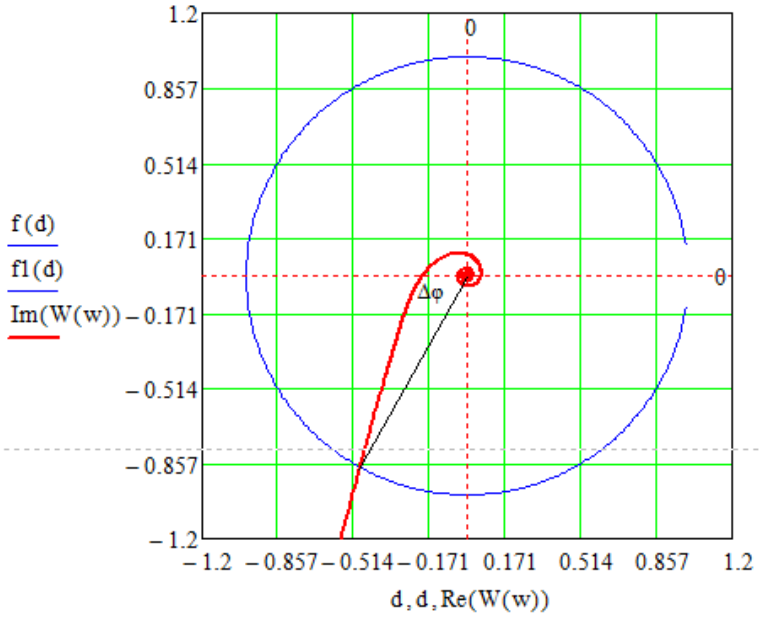


Рисунок 4.2. Амплітудо-фазо частотна характеристика САК.

Запас стійкості по фазі $_{\Delta}\varphi$ визначається кутом створеним дійсною від'ємною півіссю і прямою, проведеною з початку координат через точку перетину АФЧХ з колом одинарного радіуса з центром на початку координат $_{\Delta}\varphi = 57^{0}$.

Запаси стійкості по амплітуді і фазі задовольняють вимогам стійкості системи $_{\Delta}L = 10...20$ дБ, $_{\Delta}\varphi$ =30..60°

До автоматичних систем регулювання ставлять вимоги не лише щодо їхньої стійкості. Для коректної роботи системи необхідно забезпечити певні показники якості процесу автоматичного регулювання. Ці вимоги можуть відрізнятися в залежності від конкретної задачі, проте серед усіх показників якості можна виділити кілька ключових, які достатньо повно характеризують якість майже будь-якої системи автоматичного керування (САК). Якість регулювання зазвичай оцінюють за формою перехідної характеристики системи.

Основними показниками якості є: час регулювання, перерегулювання, коливальність та встановлена похибка.

Час регулювання — це період, протягом якого відхилення керованої величини від її заданого значення залишається в межах наперед визначеного допуску, як правило, не більше 5 %. Тобто, цей показник характеризує швидкодію перехідного процесу.

Перерегулювання — це максимальне відхилення керованої величини від встановленого рівня, виражене у відсотках від цього значення. Наступним кроком побудуємо перехідний процес замкнутої системи керування, який дорівнює:

$$W_{ZAM}(p) = \frac{W_{ROZ}(p)}{1 + W_{ROZ}(p)}. \tag{4.3}$$

Перехідний процес отримаємо за виразом:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\int_0^1 \mathrm{Re}\left[W_{ZAM}(w) \right] \cdot \frac{\sin(w \cdot t)}{w} \, dw \right]. \tag{4.4}$$

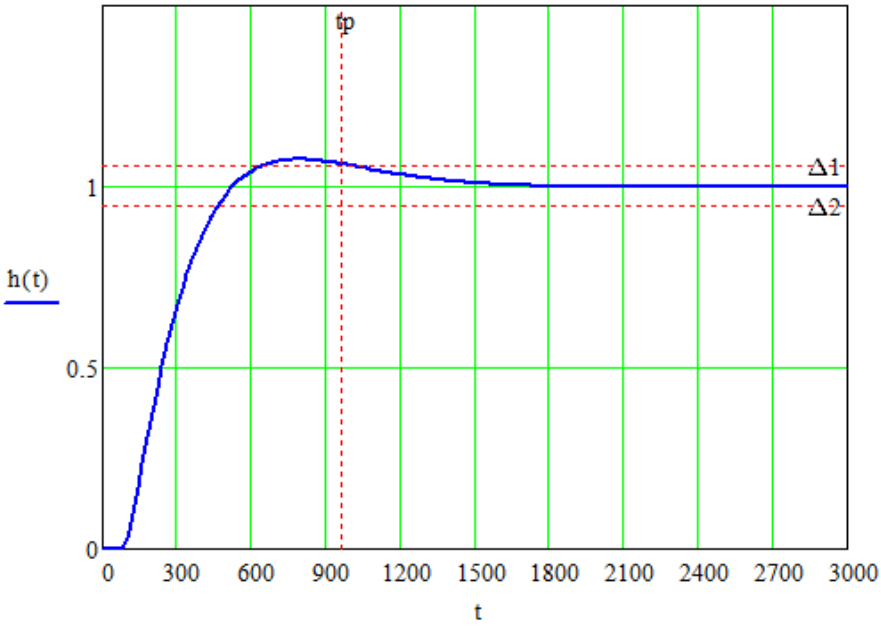


Рисунок 4.3. Перехідний процес САК.

Із побудованого графіка перехідного процесу в САК визначимо:

- час регулювання даної системи t_p =966 с,
- кількість коливань n=1,
- встановлена похибка дорівнює:

$$\Delta = y(\infty) \cdot 5\% = 1 \cdot 5\% = 0.05 \tag{4.5}$$

- перерегулювання не виходить за межі 20 % і складає:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{1.075 - 1}{1} \cdot 100\% = 7.5\ \%. \tag{4.6}$$

4.2 Розрахунок надійності системи автоматичного керування

Надійність характеризується як здатність об’єкта виконувати поставлені функції протягом часу, зберігаючи встановлені експлуатаційні показники в заданих межах.

Надійність роботи окремих компонентів системи регламентується стандартом ГОСТ 27.002-89 «Надійність у техніці. Терміни та визначення». Таким чином, загальна інтенсивність відмов системи дорівнює:

$$\sum \lambda_i = 24.465 \cdot 10^{-6},\ 1/\text{год} \tag{4.7}$$

В табл. 5.1 наведена інтенсивність відмов. Загальну інтенсивність відмов одержано як добуток інтенсивності відмов елементів на їх кількість, загальна

інтенсивність відмов системи − це сума інтенсивностей відмов кожного елемента.

Відповідно середній час безвідмовної роботи САК дорівнює:

$$T_{сер} = \frac{1}{\sum \lambda_i} = \frac{1}{24.465 \cdot 10^{-6}} = 40870 \text{ год} \quad (4.8)$$

Тоді, знайдемо результуючу імовірність відмови P(t) за t =10000 годин:

$$P_{рез}(t) = e^{-k \cdot \sum \lambda_i \cdot t}, \quad (4.9)$$

де *к* − коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо 1);

t − час експлуатації.

$$P_{рез}(t) = e^{-1 \cdot 24.465 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0{,}81$$

Враховуючи попередні розрахунки, можна зробити висновок, що на протязі 10000 годин ймовірність відмови складає 0,81.

Таблиця 4.1. Інтенсивність відмов елементів системи

Позначення на схемі	Назва елемента	Кількість елементів, шт.	Інтенсивність відмов, $\lambda i \cdot 10^{-6}$, 1/год	Загальна інтенсивність відмов $\lambda i \cdot 10^{-6}$, 1/год
M1, M2, M3	Електродвигун	3	5.24	15.72
QF1	Автоматичний вимикач	1	0.175	0.175
FU	Плавкий запобіжник	1	0.5	0.5
SF	Автоматичний вимикач	1	0.175	0.175
SA	Перемикач режиму	1	0.175	0.175

SK	Регулятор	1	0.5	0.5
RK	Терморезистор	1	0.087	0.087
HA	Прилад звукової сигналізації	1	0.05	0.05
R1	Резистор	1	0.087	0.087
HL1	Прилад світлової сигналізації	1	0.025	0.025
KM1-KM3	Магнітний пускач	5	0.25	1.25
SB1-SB8	Кнопковий вимикач	8	0.063	0.504
SQ1,SQ2, SQ3, SQ4	Кінцевий вимикач	4	0.161	0.644
VD	Датчик освітлення	1	0.085	0.085
	Механічні контакти	21	0.25	5.25

За всіх умов, коли результуюча надійність об'єкта буде менша від заданої технічними вимогами ($P_{рез}(t) = 0{,}94$), використовують резервування як схемний метод підвищення надійності.

$$P_2(t) = e^{-1*(2*0{,}175+0{,}5+2*0{,}087+0{,}05+0{,}025+3*0{,}25+5*0{,}063+2*0{,}161+14*0{,}25)\cdot 10^{-6}\cdot 10^4} = 0{,}942 \quad (4.10)$$

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

$$P_1(t) = \frac{P_3}{P_2} = \frac{0{,}94}{0{,}942} = 0{,}998, \quad (4.11)$$

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

$$\lambda_1 = (2\cdot 5{,}24+1\cdot 0{,}5+1\cdot 0{,}175)\cdot 10^{-6} = 11{,}2\cdot 10^{-6}\ , \quad (4.12)$$

λ_1 – сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини схеми, що підлягає резервуванню.

$$m = \frac{\log(1-0{,}998)}{\log(1-e^{-1\cdot 11.2\cdot 10^{-2}})} = \frac{-2}{-0{,}975} \approx 3\,, \tag{4.13}$$

де *m*– кількість зарезервованих елементів.

РОЗДІЛ 5. СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка схеми електричної принципової

Принципова електрична схема — це проектний документ, який ілюструє загальний принцип роботи електричної системи. При створенні принципової електричної схеми (рис. 5.1) було враховано вимоги таких нормативних документів:

- ГОСТ 2.701-84 «Схеми. Види та типи. Загальні вимоги до виконання»;
- ГОСТ 2.702-75 «Правила виконання електричних схем»;
- ГОСТ 2.708-81 «Правила виконання електричних схем цифрової обчислювальної техніки».

Принципова схема містить:

- умовні позначення елементів та зв’язків між ними;
- пояснювальні написи до елементів (наприклад, автоматичний вимикач позначається як QF);
- перелік пристроїв, засобів автоматизації та апаратури, які застосовуються в схемі, розміщений над штампом креслення.

Для зображення принципових схем використані умовні графічні та літерно-цифрові (позиційні) позначення відповідно до ГОСТ 2.710-81 «Літерно-цифрові позначення в електричних схемах».

Позиційне позначення згідно з ГОСТ 2.710-81 складається з трьох частин:

- у першій частині вказується одна або дві латинські літери, що позначають тип елемента;
- у другій — одна або кілька цифр, які є номером елемента;
- у третій — одна або кілька латинських літер, що визначають функцію елемента.

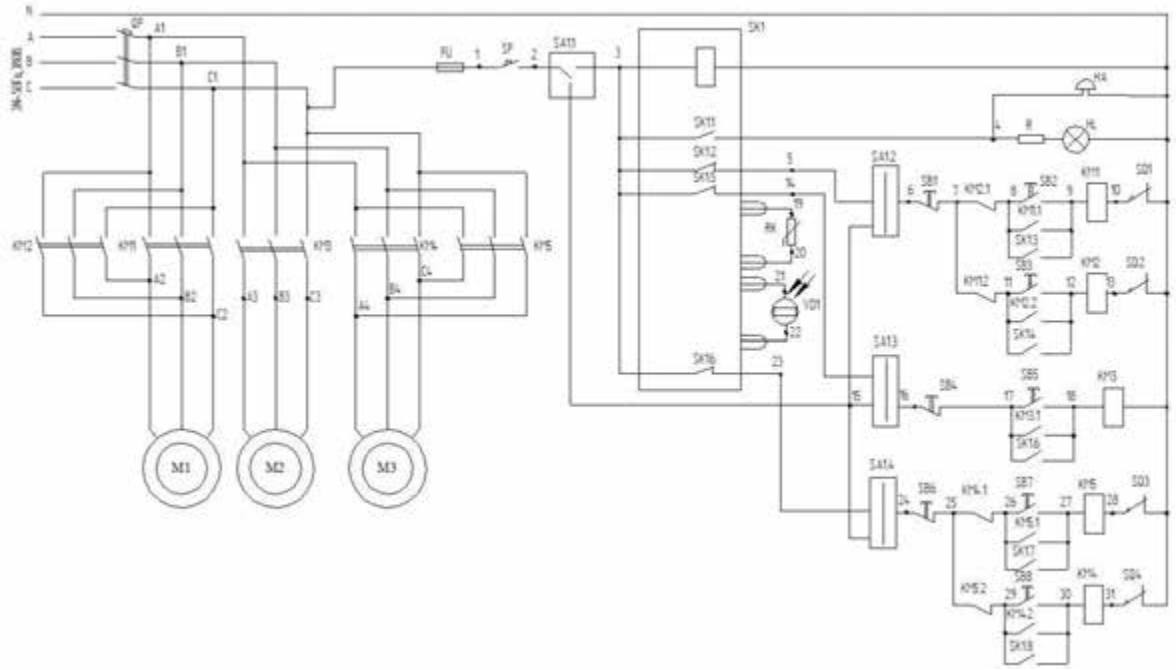


Рисунок 5.1.Фрагмент схеми електричної принципової

Варто пам’ятати, що вид і номер елемента є обов’язковою складовою умовного позначення, тоді як вказувати функцію елемента не є необхідним. Принципові електричні схеми слід виконувати за такими правилами:

1. Лист зі схемою оформлюється так, що основна схема розміщується зліва, а справа — перелік елементів.

2. Всі апарати (реле КМ1-КМ3, контакти, кнопки SB1-SB5, ключі керування SA, автоматичні вимикачі QF1, SF тощо) на схемі зазвичай зображаються у вимкненому стані, тобто без напруги у колах та без зовнішнього механічного впливу.

3. Контакти реле КМ1-КМ3 і кнопкових перемикачів SB1-SB5 показують так, щоб сила, необхідна для спрацьовування, діяла зверху вниз при горизонтальному розташуванні схеми і зліва направо — при вертикальному.

4. Для позиційного позначення елементів використовується дволітерний код. Позиційне позначення на схемі ставлять праворуч від умовного графічного зображення елемента або над ним.

5. Лінії зв’язку між елементами складаються з горизонтальних і вертикальних відрізків і мають мінімальну кількість вигинів і перетинів.

5.2 Розробка схеми електричної з'єднань

Відповідно до ГОСТ 2.702-75 «Правила виконання електричних схем», схеми з’єднань — це схеми, які відображають з’єднання складових частин установки або виробу. Вони створюються на основі принципових схем живлення і застосовуються під час монтажних та налагоджувальних робіт.

Схема з’єднань була виконана згідно з такими загальними правилами:

- схема з’єднань розроблена для щита керування ЩРНМ-2, у якому розташовані всі комутуючі пристрої;
- усі елементи, такі як КМ1-КМ3, FU та інші, розміщені на задній панелі щита керування ЩРНМ-2 відповідно до ГОСТ 2.702-75 «Правила виконання електричних схем»;
- дотримано норми маркування кабелів і ліній зв’язку, що з’єднують всі елементи, згідно з ГОСТ 2.710-81 «Позначення буквено-цифрові в електричних схемах».

При розробці схеми застосовано адресний спосіб та враховано такі вимоги:

- Щит керування ЩРНМ-2 зображено в одній площині з показом лише:
  - передньої панелі, на якій розміщені автоматичні вимикачі QF, SF, кнопки керування SB1-SB5, сигнальна лампа HL, інформаційний екран контролера SK1, вимикачі SA та дзвоник (сигналізація) HA;
  - лівої бічної панелі з клемником XT, який служить розв’язкою між елементами передньої та задньої панелі, а також силовою частиною схем, зокрема двигунами M1-M2 та кінцевими вимикачами SQ1 і SQ2;
  - задньої панелі, на якій розміщені комутуючі реле, засоби захисту двигунів — КМ1-КМ3, F1-F3;

- виводи кожного елемента позначено колами з внутрішнім заводським маркуванням; у разі відсутності заводського маркування виводи позначені умовними арабськими цифрами, що пояснюється у надписах.

Адресний спосіб, який є найбільш поширеним, полягає у тому, що лінії зв’язку між окремими елементами, встановленими на щиті, не малюють. Натомість у точках приєднання проводів на кожному апараті або елементі зазначають цифрову або літерно-цифрову адресу відповідного апарату чи елемента, з яким він має бути електрично з’єднаний (позиційне позначення за принциповою схемою) або порядковий номер елемента. Це дозволяє уникнути захаращення схеми лініями зв’язку і значно полегшує її читання (рис. 5.2).

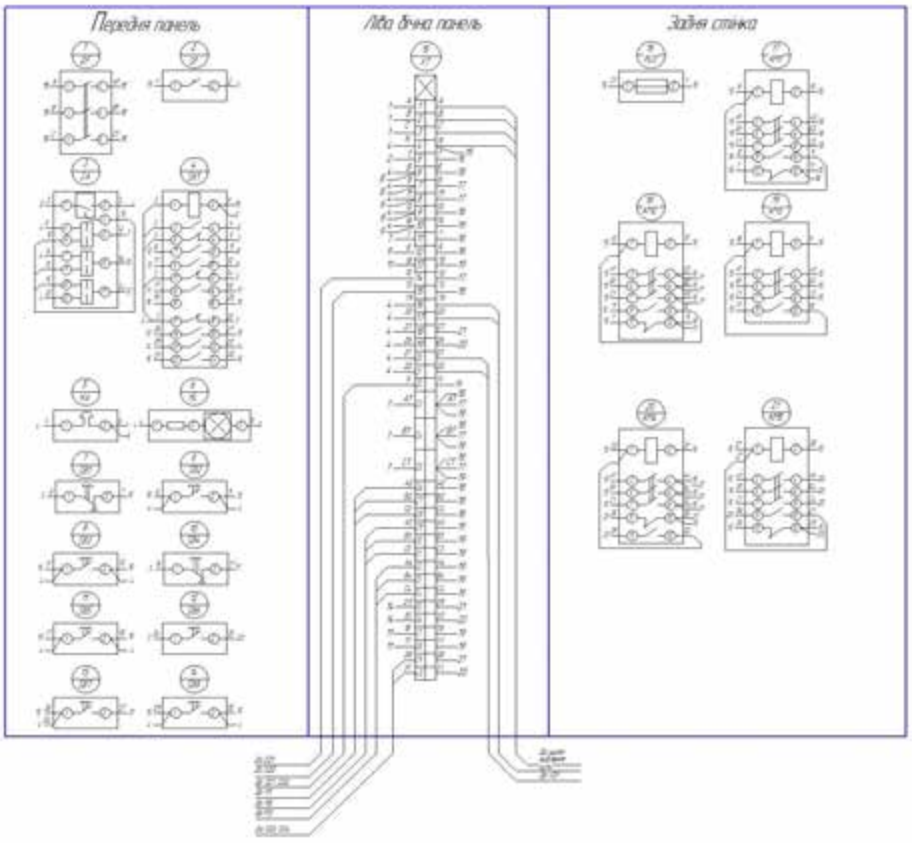


Рисунок 5.2.Фрагмент схеми електричної з’єднань (адресний спосіб виконання)

5.3 Розробка схеми електричної підключень

Відповідно до ГОСТ 2.702-75, схеми вмикання відображають зовнішнє підключення апаратів, установок, щитів, пультів тощо. Схеми з'єднань розробляють на основі принципових схем живлення, специфікацій приладів і обладнання, а також креслень виробничих приміщень з розміщенням технологічного устаткування та трубопроводів.

Практично застосовують два види побудови схем підключень: графічний та табличний, при цьому більш поширеним є графічний варіант. На таких схемах умовними графічними позначеннями показують: первинні перетворювачі; прилади та засоби автоматизації поза щитами; з'єднувальні та протяжні коробки; вільні коробки кінців термопар; електропроводку та кабелі поза щитами; забірну апаратуру; елементи для з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображують у вигляді прямокутників або кіл, всередині яких розміщують відповідні позначки.

На лініях зв'язку, що позначають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), переріз і довжину проводів та кабелів. Якщо проводка проходить у трубі, також зазначають характеристики труби.

Схеми підключень виконують без масштабування у зручному для користування вигляді (рис. 5.3).

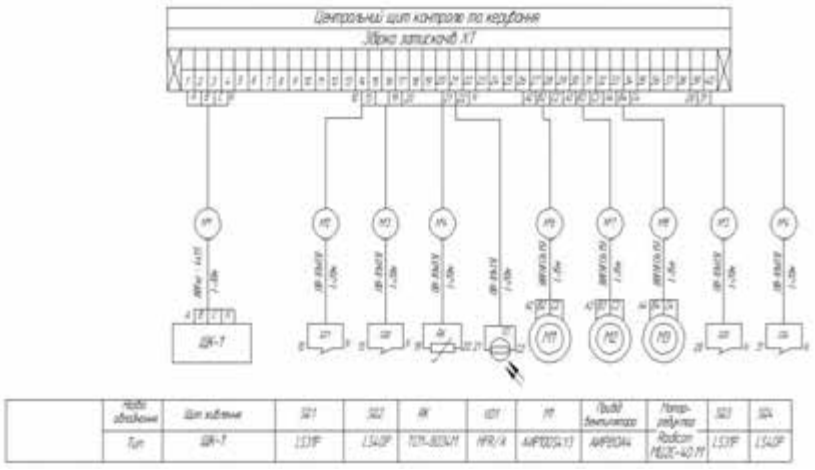


Рисунок 5.3. Фрагмент схеми електричної підключень

5.4 Вибір щита керування

Щити та пульти — це пости для керування, контролю та сигналізації електрифікованих і автоматизованих об’єктів. На них встановлюють керуючу апаратуру, контрольно-вимірювальні прилади, засоби сигналізації та захисту. На фронтальних поверхнях щитів і пультів можуть бути нанесені пояснювальні наклейки, освітлювальні прилади тощо.

Вибір щитів і пультів на етапі проєктування здійснюють на основі таких нормативних документів: ГОСТ 20504-81 «Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів ГСП. Типи та основні розміри», ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) «Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів. Загальні технічні умови», ГОСТ 36.13-76 «Щити і пульти систем автоматизації технологічних процесів», а також інструкції РМ4-107-82, що є додатком до ГОСТ 36.13-76.

Відповідно до цих нормативів щити та пульти розраховані для розміщення в закритих приміщеннях з температурою навколишнього середовища від −30 до +50 °С і відносною вологістю не більше 80%. Проте існують також спеціальні щити та пульти, які призначені для роботи у більш жорстких умовах — при підвищеній або зниженій температурі, підвищеній вологості або наявності агресивного середовища. Позначення щитів і пультів здійснюють відповідно до ГОСТ 36.13-76.

Шафові щити застосовують:

– у виробничих приміщеннях із високим пиловим навантаженням, підвищеною вологістю та можливістю механічних пошкоджень апаратури та внутрішніх проводів;

– для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;

– для захисту обслуговуючого персоналу від випадкового дотику до відкритих струмопровідних частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габарити всіх пристроїв системи керування температурою повітря в блочній теплиці, які розташовані на передній та задній панелях згідно з ГОСТ 36.13-76, обираємо шафовий малогабаритний щит ЩРНМ-2 (рис. 5.4) розміром 500×500×220 мм.

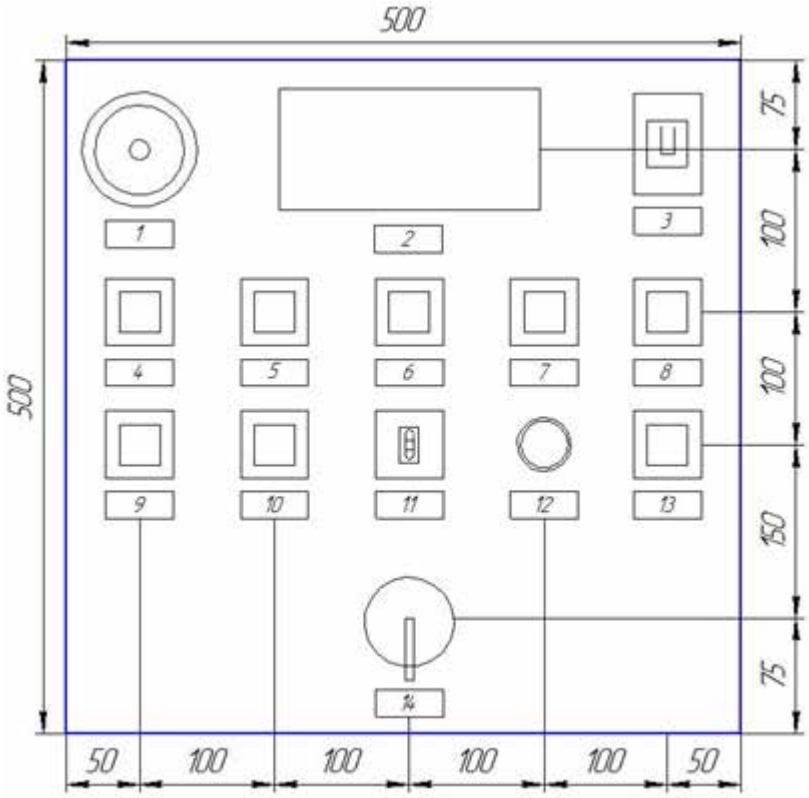


Рисунок 5.4.Схема загального вигляду щита керування

5.5 Вибір пускозахистної апаратури

Електричні апарати для пуску, керування та захисту — це електротехнічні пристрої та механізми, призначені для включення і виключення, забезпечення необхідного режиму роботи, а також захисту електроспоживачів і електричних кіл. Один апарат може виконувати одну або кілька із зазначених функцій.

Вибір електричних апаратів здійснюють з урахуванням виду струму, напруги, потужності, кількості полюсів, вимог до електричного захисту від

аварійних режимів роботи споживачів і кіл, а також за характеристиками виконання залежно від умов навколишнього середовища.

Вибір двигуна М2. Для циркуляції повітря у теплиці встановлено вентилятор, приводом якого служить електродвигун. Для цієї задачі обираємо двигун типу АИР80А4, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 5.5, а технічні характеристики — у таблиці 5.1.

Рисунок 5.5. Зовнішній вигляд двигуна типу АИР80А4

Таблиця 5.1. Технічні характеристики електродвигуна АИР80А4

Тип двигуна	Асинхронний
Тип ротора	Короткозамкнутий
Кількість фаз	3
Напруга, В	380
Номінальний струм, А	3.04
Потужність, кВт	1.1
Коефіцієнт потужності, %	76
Частота обертання, об/хв	1500
ККД, %	74.5

Вибір автоматичних вимикачів QFmaSF. Згідно з принциповою схемою, для захисту електродвигунів від струмів короткого замикання передбачені автоматичні вимикачі.

Обираємо автоматичний вимикач QF (рис. 5.6) фірми Schneider Electric типу Acti9 iK60N 16A 6кА, технічні характеристики якого вказані у табл. 5.2.

Рисунок 5.6. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача Acti9 iK60N

Таблиця 5.2.Технічні характеристики автоматичного вимикача Acti9 iK60N

Номінальний струм	16А
Відключаюча здатність	6кА
Механічний ресурс	20 000
Електричний ресурс	10 000
Перетин підключаємого дрота	1-16мм^2
Ширина модуля	18мм
Монтаж	на шину TH35(DIN)

Автоматичні вимикачі вибирають за таких умов:

– номінальна напруга автоматичного вимикача має відповідати напрузі електричної мережі:

$$U_{ав} \geq U_{м}; \quad (5.1)$$

– номінальний струм автоматичного вимикача має дорівнювати номінальному струму двигуна або трохи перевищувати його:

$$I_{ном.ав.} \geq I_{ном.дв.}; \quad (5.2)$$

$$I_{ном\sum}=I_{н1}+I_{н2}=6,7+2,75=9,45 \text{ А}$$

$$I_{н.ав.}=16 \text{ А}$$

$$(16 \geq 9,45)$$

– номінальний струм електромагнітних і теплових розчіплювачів має дорівнювати номінальному струму двигуна або трохи перевищувати його:

$$I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ед.}; \quad (5.3)$$

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

$$1{,}25 \cdot I_{н.дв.} = 1{,}25 \cdot 9{,}45 = 11{,}8 \text{ А};$$

$$I_{нр} = 16 \text{ А};$$

$$(16 \geq 11{,}8),$$

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

1,25 - коефіцієнт, враховуючий струм спрацювання теплового розчіплювача.

Обираємо автоматичний вимикач SF для кола керування ETIMAT6 (рис. 5.7), технічні характеристики якого наведені у табл. 5.3.

Рисунок 5.7. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача ETIMAT6

Таблиця 5.3. Технічна характеристика автоматичного вимикача ETIMAT6

Номінальний струм	6А
Відключаюча здатність	6кА
Механічний ресурс	20 000
Електричний ресурс	10 000
Перетин підключаємого дрота	1-25мм^2

Масимальний струм, який може розмикати автоматичний вимикач становить $3I_{ном}$. Оскільки струм, який споживає схема керування $I_{ном}$=1,7А, то максимальний струм вимикача:

$$3I_{ном}=3\cdot1,7=5,1А \quad (5.4)$$

Отже, на основі проведених розрахунків вибір автоматичних вимикачів є правильним.

Вибір запобіжника FU. Плавкі запобіжники — це найпростіші та найбільш економічні пристрої для захисту електричних мереж і установок від коротких замикань та перевантажень по струму.

Номінальний струм запобіжника для захисту кола керування повинен дорівнювати або перевищувати сумарний номінальний струм усіх апаратів у цьому колі. Струм плавкої вставки розраховують за формулою:

$$I_{пл.вст.}\geq 1,2\cdot I_{кк.}, \quad (5.5)$$

де $I_{кк.}$ – струм, що споживає коло керування

$$1,2\cdot1,7=2,04$$

Вибираємо запобіжник типу СН 8х32 gL/gG 4А з вставкою на струм 4 А та на номінальний струм запобіжника 4 А, які розраховані на роботу в мережах змінного струму напругою до 660 В.

Вибір електромагнітних пускачівKM1 – KM5. Електромагнітні пускачі є основними апаратами автоматичного керування електроустановками, зокрема електродвигунами. Їх вибирають:

– за напругою мережі живлення

$$(U_n > Uм) \quad (5.6)$$

660 В > 220 В

– за струмом

$$(I_{ном\text{-}п} \geq I_{ном.дв.}) \quad (5.7)$$

10 А ≥ 6,7 А (М1)

6,3 А ≥ 2,75 А (М2)

10 А ≥ 6,7 А (М3)

Обираємо електромагнітний пускач КМ3 - ПМА 0000 (рис. 5.8), виробництва НВО Етал - на 6,3А, нереверсивний, характеристика якого представлена у табл. 5.4.

Рисунок 5.8. Зовнішній вигляд магнітного пускача - ПМА 0000

Таблиця 5.3.Характеристики магнітного пускачаПМА 0000

Номінальна напруга ізоляції пускача, В	660
Номінальний струм, на який розрахований пускач, А	6.3
Механічна/ комутаційна, цикли	20 млн/3 млн

КМ1, КМ2, КМ4 та КМ5 обираємо магнітні пускачі типу ПМЛ 1501 (рис. 5.9). Низьковольтний реверсивний пускач виробника Етал, на струм 10А, з характеристиками, які відповідають вимогам (табл. 5.4).

Рисунок 5.9. Зовнішній вигляд магнітного пускача - ПМЛ 1501

Таблиця 5.4.Характеристики комутаційного апарата ПМЛ 1501

Номінальна напруга по ізоляції, В	660
Струм головного ланцюга, А	10
Потужність, що витрачається котушкою пускача, Вт: при звичайній роботі при запуску двигуна	 8 ± 1,8 68 ± 8
Максимальна частота включення під навантаженням, раз/год	2400

Вибір кінцевих вимикачівSQ1 – SQ4. Кінцеві вимикачі вибирають, враховуючи номінальну напругу і струм кола керування, кількість і тип контактів, конструктивне виконання.

Максимальний струм, який може розмикати кінцевий вимикач становить:

$$I_{к.в.} \geq I_{к.к.} + I_{м.п.} \qquad (5.8)$$

Згідно з електричною принциповою схемою вибираємо кінцевий вимикач SQ1 та SQ3 типу LS31P з номінальним струмом 10А та кінцевий вимикач SQ2 та SQ4 типу LS40P з номінальним струмом 12А.

Для SQ1, SQ3:

$$10 \geq 1{,}7 + 6{,}3 \text{ (А)}$$

$$10 \geq 8 \text{ (А)}$$

Для SQ2, SQ4:

$$12 \geq 1,7+10 \text{ (А)}$$

$$12 \geq 11,7 \text{ (А)}$$

Вимикачі відповідають вимогам ГОСТ9601-84 і ГОСТ24682-81.

Отже, враховуючи розрахунки, кінцеві вимикачі обрано вірно.

Вибір кнопок керування електродвигунами SB1 – SB8. Кнопки керування серії КЕ, ПКЕ призначені для комутації електричних кіл керування з напругою змінного струму до 500 В і частотою 50 Гц та постійного струму до 220 В.

Згідно з принциповою схемою, вибираємо кнопки ПКЕ211УЗ з відповідними технічними характеристиками (табл. 5.5) (ГОСТ 15150-69).

Таблиця 5.5.Технічні характеристики ПКЕ211УЗ

Номінальна напруга ізоляції, В	660
Номінальна напруга змінного струму частотою 50 Гц, В	400
Номінальна напруга постійного струму, В	220
Мінімальна робоча напруга, В	12
Максимальний робочий струм, А	10
Мінімальний робочий струм, А	0.1

Вибір перемикача SA. Згідно з принциповою схемою, для кола керування вибираємо перемикач ПК16-12 С2029 У3 (рис. 5.10) з відповідними технічними характеристиками (табл. 5.6), з трьома позиціями роботи – «2» - «0» - «1». Кулачкові перемикачі ПК призначені для комутації електричних ланцюгів управління напругою від 24 до 440 В постійного і змінного струму частотою 50 (60) Гц.

Рисунок 5.9. Зовнішній вигляд перемикача ПК16-12 С2029 У3

Таблиця 5.6 Технічні характеристики перемикача ПК16-12 С2029 У3

Номінальна робоча напруга, В	240
Номінальна напруга ізоляції	660
Механічна зносостійкість, циклів	100000
Комутаційна зносостійкість, циклів	3000
Максимальна кількість вмикань за годину	120

Вибір сигнальної лампи кола керування HL. Для світлової сигналізації в колі керування HL, яка повідомляє про зміну температури в приміщені нижче (вище) заданої, вибираємо сигнальну лампу XB2-EV165, з відповідними технічними характеристиками (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 Характеристики сигнальної лампи XB2-EV165

Номінальна напруга, В	230/24
Номінальний струм, мА	300
Діаметр монтажного отвору, мм	22
Діапазон робочих температур, ° С	-5…+60

Вибір приладів звукової (НА) сигналізації. Для звукової сигналізації використаємо дзвоник гучного бою типу EBL-100 з напругою живлення 220 В і струмом споживання 300 мА.

Вибір клемника XT. Зажимний набір LegranD 034211служить для безпечного і компактного підключення фазних і нульових проводів. Враховуючи кількість клем для реалізації проекту, потрібно 4 шт з технічними

характеристиками, які наведено у табл. 5.8.

Таблиця 5.8.Технічні характеристики клемникаLegranD 034211

Максимальний переріз, мм²	4
Номінальнийпереріз, мм²	2.5
Діаметр, мм	2.5
Максимальний струм, А	24
Кількість клем	12
Діапазон робочих температур, °С	25…+55
Габаритні розміри, мм	15.5x94x12.3

Вибір перерізу живлення для електродвигунів здійснюють з урахуванням максимально допустимого нагрівання провідника та його механічної міцності. При визначенні кількості жил, що прокладаються в одній трубі (або в багатожильному провіднику), робочий нульовий провідник у чотирижильній трифазній системі або заземлююча жила не враховуються. Поперечну площу жил провідників, шнурів і кабелів обирають відповідно до тривалого допустимого струму.

Для двигунів (М1, М2, М3) тривалий допустимий струм розраховується за формулою:

$$I_{НОМ} = \frac{10^3 P_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ} \eta_{НОМ} \cos\varphi_{НОМ}} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}83} = \frac{3000}{448} = 6{,}7(A). \quad (5.9)$$

Обираємо кабель ВВГнг 3х1,5 на 0,66 кВ з максимально допустимим робочим струмом 21 А та довжиною 30 м.

Для живлення кола керування, враховуючи, що номінальний струм не перевищує 2 А, вибираємо провід ПВ-1х0,5 (ГОСТ 6323-79) — мідний провід з перерізом жил 0,5 мм² в полівінілхлоридній оболонці, тривала допустима сила струму якого становить 11 А. З урахуванням розташування елементів на схемі необхідно 60 м такого проводу.

Визначення тривало допустимого струму для кабелю живлення шафи керування виконуємо за формулою:

$$I_{ш.тр.доп.} = \sum I_{тр.доп.} = 6,7 + 2,75 + 1,7 = 11,15A \quad (5.10)$$

де $\sum I_{тр.доп.}$ – сума тривало допустимих струмів електродвигуна і кола керування.

Для живлення шафи керування вибираємо кабель ВВГнГ 4х1,5 на 0,66кВ довжиною 30 м. Провід відповідає ГОСТ 16442-70 – кабель з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, перерізом силових жил 1,5 мм^2 .

РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУТНУВАННЯ

Технічний рівень засобів електрифікації та автоматизації виробничих процесів впливає на економічну ефективність їх застосування в сільськогосподарському виробництві. Автоматизація технологічних процесів спрямована на збільшення обсягів продукції, підвищення продуктивності праці (шляхом скорочення трудових витрат), зниження енергоспоживання та собівартості продукції, а також скорочення терміну окупності капіталовкладень.

Економічна ефективність автоматизації оцінюється за ступенем зниження сумарної живої та минулої праці, витраченої на виробництво одиниці продукції. Узагальнюючим показником економічної ефективності капіталовкладень є строк окупності інвестицій у систему автоматичного керування. Тож, для розрахунку економічної ефективності визначимо строк окупності капіталовкладень у систему автоматизації регулювання вологості повітря в теплиці за формулою:

$$T = \frac{K}{\Delta E} \tag{6.1.}$$

ДеК — капітальні вкладення на здійснення автоматизації, грн;
ΔЕ — річна економія експлуатаційних витрат, грн/рік.

Капітальні вкладення на удосконалення САК температурою повітря в теплиці визначаємо за формулою:

$$К=КЗ+КТТ+КМ+КПР+ККВ, \tag{6.2}$$

де $К_з$ — загальна вартість технічних засобів автоматизації, грн; $К_{тт}$ — торгівельно-транспортні втрати, грн; $К_м$ — витрати на монтаж технічних засобів, грн; $К_{пр}$ — витрати на прокладення проводок, грн; $К_{кв}$ — інші витрати, грн.

В даному випадку загальна вартість технічних засобів автоматизації становить:

$$К_з = К_{дт} + К_{дв} + К_{рег} + К_{кл} + К_{пр} + К_{прив} \quad (6.3)$$

де: $К_{дт}$ — вартість датчика температури, 1500 грн; $К_{дв}$ — вартість датчика рівня освітлення, 100 грн; $К_{рег}$ — вартість регулятора, 16879 грн;$К_{кл}$ — вартість мотор-редуктора, 2200 грн; $К_{прив}$ – вартість приводу, 1130 грн;$К_{пр}$ — вартість проводки, 8грн/м.

Тоді згідно форумулі загальна вартість технічних засобів автоматизації буде складати:

$$К_з = 150 + 100 + 6879 + 2200 + 1120 + 8 = 10459 \text{ грн} \quad (6.4)$$

Торгівельно-експорті втрати будуть становити 11% від загальної вартості технічних засобів автоматизації:

$$К_{тт} = 0.11 * К_з = 10459 * 0.11 = 1150 \text{ грн} \quad (6.5)$$

Витрати на монтаж технічних засобів автоматизації становлять 17% від загальної вартості технічних засобів автоматизації:

$$К_м = 0.17 * К_з = 10459 * 0.17 = 1778 \text{ грн} \quad (6.6)$$

Витрати на прокладення проводок:

$$К_{пр} = К_{пр} * l = 15 * 200 = 3000 \text{ грн} \quad (6.7)$$

де $К_{пр}$ — вартість проводки та монтажу, 15грн*м; l – довжина проводки.

Інші витрати будуть становити 2% від суми технічних засобів автоматизації:

$$Ккв = 10459 * 0.02 = 20 \text{ грн} \quad (6.8)$$

Отже, згідно (6.2) капітальні вкладення на удосконалення САК температурою повітря в теплиці будуть:

$$К = 10459 + 1150 + 1778 + 3000 + 209 = 16596 \text{ грн} \quad (6.9)$$

Далі знайдемо річні експлуатаційні витрати, визначаємо за формулою:

$$Е_р = З_{утр} + З_{ел} + З_п + З_{ін} \quad (6.10)$$

де $З_{утр}$ — затрати на утримання основних засобів виробництва; $З_{ел}$ — вартість електроенергії;$З_п$ — річний фонд заробітної плати за обслуговування;$З_{ін}$ — інші витрати;

$$З_п = З_{осн} + З_{дод} + З_н \quad (6.11)$$

де $З_{осн}$ — основна оплата; $З_{дод}$ — додаткова оплата; $З_н$ — нарахування.

Визначимо основну оплату:

$$З_{осн} = Т_{ст} + Д * t * n \quad (6.12)$$

де $Т_{ст}$ – тарифна ставка, 22 грн/год; Д – кількість днів роботи, 140 днів; t – кількість годин роботи за день, 6 год; n – кількість робітників.

$$З_{осн} = 22 * 140 * 6 * 1 = 18480 \text{ грн} \quad (6.13)$$

Визначимо додаткову оплату:

$$З_{дод} = \frac{З_{осн} * 10\%}{100\%} = \frac{18480 * 10\%}{100\%} = 1848 \text{ грн}$$

Визначаємо нарахування:

$$З_н = \frac{(З_{осн} + З_{дод}) * (32\% + 2\% + 1.5\% + 1\%)}{100\%} \quad (6.14)$$

$$З_н = \frac{(18480 + 1848) * 36.5\%}{100\%} = 7419 \text{ грн}$$

Отже річний фонд заробітної плати на обслуговування згідно (6.13) буде:

$$З_п = 18480 + 1848 + 7419 = 27747 \text{ грн}$$

Затрати на утримання основних засобів:

$$З_{утр} = А_м + Р_п \quad (6.15)$$

де$А_м$ – амортизаційні відрахування;$Р_п$ – відрахування на поточний ремонт.

Відрахування на амортизацію будуть становити 20% від капітальних вкладень:

$$Ам=0.2*К=0.2*14496=2899грн. \quad (6.16)$$

Витрати на поточний ремонт будуть становити 25% від капітальних вкладень:

$$Р_п = 0.25 * К = 0.25 * 14496 = 3624, грн. \quad (6.17)$$

$$З_{утр} = 2899 + 3624 = 6523, грн$$

Інші витрати будуть складати 2% від суми річного фонду заробітної плати, затрати на утримання основних засобів виробництва та вартості електроенергії, тобто:

$$З_{ін} = (З_{п} + З_{утр} + З_{ел}) * 0.02 = 3827 \text{ грн} \quad (6.18)$$

Отже річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$Е_{р} = 18480 + 27747 + 157080 + 3827 = 203307 \text{ грн} \quad (6.19)$$

По даних господарства річні витрати на утримання САКтемпературою повітря в теплиці складали – 93913.6 грн.

Таким чином строк окупності капітальних вкладень в систему автоматичного регулювання вологості повітря в теплиці складе:

$$Т = \frac{К}{\Delta Е} = \frac{16596}{14087} = 1.2 \text{ року}$$

Отже, строк окупності вдосконаленої САК температурою повітря для блочної теплиці по вирощуванню огірків за допомогою системи заштрорювання становитиме 1.2 року, а вартість витрат на газ зменшиться на 15%.

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Організаційні і технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Успішне запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням можливе лише за умови ретельного аналізу причин їх виникнення. Для спрощення цього процесу причини поділяють на кілька основних груп: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні та психофізіологічні.

Організаційні причини:

- відсутність або низька якість навчання з охорони праці;
- відсутність належного контролю;
- недотримання інструкцій, правил, норм і стандартів;
- невиконання заходів з охорони праці;
- порушення технологічних регламентів, правил експлуатації обладнання, транспорту та інструментів;
- нехтування планово-попереджувальним ремонтом устаткування;
- недостатній технічний контроль під час виконання небезпечних робіт;
- використання устаткування, механізмів і інструментів не за призначенням.

Технічні причини:

- несправність виробничого обладнання, механізмів та інструментів;
- недосконаліть технологічних процесів;
- конструктивні недоліки обладнання, відсутність або недостатність захисних огороджень, запобіжних пристроїв, сигналізації та блокувань.

Санітарно-гігієнічні причини:

- підвищений (вище гранично допустимих концентрацій) вміст шкідливих речовин у повітрі робочих зон;

- недостатнє або нераціональне освітлення;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- порушення правил особистої гігієни.

Економічні причини:

- нерегулярна виплата заробітної плати;
- низький рівень оплати праці;
- нерівномірність робочого графіка;
- прагнення виконувати понаднормову роботу;
- робота за сумісництвом або одночасно на двох різних підприємствах.

Психофізіологічні причини:

- помилкові дії через втому, викликану надмірною важкістю і напруженістю праці;
- монотонність роботи;
- погане самопочуття працівника;
- необережність;
- незадоволення роботою;
- несприятливий психологічний клімат у колективі.

Основні заходи з профілактики та усунення причин виробничого травматизму і професійних захворювань поділяють на технічні та організаційні.

Заходи виробничої санітарії включають:

- створення комфортного мікроклімату шляхом встановлення систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
- теплоізоляція будівельних конструкцій і технологічного обладнання;
- заміна шкідливих речовин і матеріалів на безпечні;
- герметизація процесів, що виділяють шкідливі речовини;
- зниження рівнів шуму та вібрації;
- організація раціонального освітлення;

- забезпечення оптимального режиму праці та відпочинку, а також санітарного і побутового обслуговування.

Заходи безпеки включають комплекс організаційних і технічних дій та засобів, спрямованих на попередження дії небезпечних виробничих факторів на працівників.

До основних технічних заходів належать:

- проєктування та використання безпечного обладнання;
- механізація та автоматизація виробничих процесів;
- застосування захисних пристроїв і автоматичних блокувальних систем;
- раціональне та ергономічне розташування органів управління машинами й обладнанням;
- впровадження автоматичних систем регулювання, контролю та управління, а також безпечних і екологічно чистих технологій.

Організаційні заходи включають:

- належну організацію роботи, навчання персоналу, контроль та нагляд у сфері охорони праці;
- суворе дотримання вимог трудового законодавства та нормативно-правових актів з охорони праці;
- впровадження безпечних методів роботи та науково обґрунтованої організації праці;
- проведення профілактичних оглядів, просвітницьких заходів (лекції, інструктажі, візуальна агітація) з охорони праці;
- організація планово-попереджувального обслуговування та ремонту обладнання, технічні огляди і випробування транспортних засобів, вантажопідіймальних механізмів та посудин, що працюють під тиском.

Під час робіт у захищеному ґрунті слід враховувати потенційно небезпечні та шкідливі виробничі чинники, які можуть впливати на працівників, згідно з вимогами ГОСТ 12.0.003-74.

Фізичні небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища включають:

- рухомі машини та механізми;
- рухомі елементи обладнання;
- пересувні заготовки, вироби та матеріали;
- надмірна запиленість і загазованість повітря в робочій зоні;
- занадто висока або низька температура поверхонь обладнання й матеріалів;
- відхилення температури повітря в робочій зоні від допустимих норм (перегрів або переохолодження);
- надмірний шум у зоні роботи персоналу;
- інтенсивна вібрація;
- підвищена вологість повітря;
- аномальна швидкість руху повітря (перевищення або нестача вентиляції);
- наявність високої напруги в електромережах, що може створити небезпеку ураження струмом;
- відсутність або недостатній рівень природного освітлення;
- слабке освітлення робочої ділянки;
- надмірна яскравість освітлювальних приладів;
- розташування робочого місця на висоті, яка створює ризик падіння.

7.2. Вибір індивідуальних засобів захисту

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) працівників мають відповідати вимогам ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартів безпеки праці (ССБТ). Засоби захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація».

Підбір конкретного типу ЗІЗ здійснюється з урахуванням вимог безпеки, характеру виробничого процесу або виду робіт, а також наявності небезпечних чи шкідливих виробничих факторів.

Засоби колективного захисту повинні бути інтегровані у виробниче обладнання або його системи керування так, щоб при необхідності забезпечувалася примусова дія захисного механізму.

Індивідуальні засоби захисту застосовуються у тих випадках, коли забезпечити безпечні умови праці неможливо конструктивними особливостями обладнання, організацією виробництва, плануванням приміщень або колективними засобами захисту.

Порядок забезпечення працівників ЗІЗ регламентується положенням ДНАОП 00-4.26-96.

Вибір засобів індивідуального захисту здійснюється відповідно до технічних характеристик, а також фізичних, хімічних, токсичних, біологічних властивостей матеріалів, що використовуються у процесі, з урахуванням специфіки виконуваних робіт.

ЗІЗ мають підбиратися індивідуально для кожного працівника. Засоби захисту органів дихання повинні обиратися та контролюватися уповноваженими особами, особливо при роботі з пестицидами.

Кожен працівник має бути забезпечений повним комплектом ЗІЗ: спецодягом, спецвзуттям, рукавицями чи рукавичками, захисними окулярами, респіраторами або протигазами – на весь період виконання робіт.

Виконання робіт без використання ЗІЗ заборонено.

Засоби захисту органів дихання повинні супроводжуватися інструкцією, що містить інформацію про їхнє призначення, термін служби, правила експлуатації та умови зберігання.

Працівники повинні бути навчені правилам користування ЗІЗ і вміти перевіряти їх на справність.

Респіратори та протигази мають відповідати ГОСТ 12.4.041-89, а фільтрувальні елементи — ГОСТ 12.4.122-83.

Разом із засобами захисту органів дихання працівникам необхідно надавати інструкції з їх використання, а також паспорти на фільтри, в яких фіксується тривалість їх експлуатації тощо.

7.3. Забезпечення захисту від пожежі

Пожежна безпека на об'єктах із захищеним ґрунтом повинна забезпечуватись шляхом впровадження організаційних, технічних та інших необхідних заходів відповідно до вимог ДНАОП 0.01-1.01-95 та ГОСТ 12.1.004-91 «Пожежна безпека. Загальні вимоги».

На дверях або стінах приміщень обов’язково мають бути розміщені відповідні знаки безпеки, а також зазначені категорії приміщень за вибухо- та пожежоне безпечністю згідно з ВБН-СГіП-46-3-94 «Перелік будівель і приміщень підприємств Міністерства сільського господарства та продовольства України з визначенням їх категорії за вибухопожежною небезпекою», а також відповідні класи зон згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ).

На ділянках, призначених для зберігання тари, інвентарю, розміщення техніки, механізмів та агрегатів, повинні бути наявні необхідні засоби пожежогасіння, згідно з додатком №3 ДНАОП 0.01-1.01-95 та ГОСТ 12.4.009-83 «Пожежна техніка для захисту об’єктів. Основні види. Розміщення та обслуговування».

ВИСНОВОК

В роботі представлено вдосконалення САК температурою повітря для вирощування огірків у зимово-весняній блочній теплиці за допомогою системи зашторювання.

Проведено детальний огляд літературних джерел з автоматизації споруд закритого грунту і обрано оптимальний закон керування системою.

Розроблена імітаційна модель функціонування САК температурою повітря у блочній теплиці.

Зважаючи на технологічні особливості процесу і технічні засоби керування, застосовано пропорційно-інтегральний закон керування.

Було вдосконалено САК температурою повітря у блочній теплиці, використовуючи контролер SIEMENS.

Під час аналізу даної системи були визначені показники якості її роботи при статичній похибці $\Delta=0.05$: коливальність $n = 1$, перерегулювання $\sigma = 7.5\%$, та час регулювання $T = 966$с, які задовольняють сучасні вимоги технологічного процесу.

Розраховано показники економічної ефективності, а саме: термін окупності 1.2 року та зменшення витрат газу на 15%.

Отже, вдосконалена САК температурою повітря у зимово-весняній блочній теплиці з системою зашторювання є доцільною для використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник – К., 2008. – 330с.

2. Мельничук М.Д. Автоматизовані системи керування в агропромисловому виробництві. — К.: Урожай, 2003. — 328 с.

3. Б.Л. Головінський, Ю.В. Шуруб «Теорія автоматичного управління. Аналіз стійкості та якості роботи систем автоматичного управління». Київ – 2011.

4. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом. Навчальний посібник. Т. В. КОРЕНЬКОВА, О. О. СЕРДЮК, В. Г. КОВАЛЬЧУК. Кременчук Видавець ПП Щербатих О. В. 2013 – 199 с

5. Луцик П.Т., Мартинюк О.М. Автоматизація сільськогосподарського виробництва. — Львів: Афіша, 2010. — 312 с.

6. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи в АПК». — НУБіП України, 2023. — Секція: «Автоматизація процесів у тепличному господарстві».

7. Сенсорні панелі Weintek MT8071iE Електронні дані. - Режим доступу: https://refit.prom.ua/ua/p521087815-sensornye-paneli-weintek.html

8. Горбенко В.І., Шульга О.В. Основи теплотехніки та гідравліки: навчальний посібник. — К.: Центр учбової літератури, 2015. — 284 с.-

9. Буряк П. Ю., Лисенко Ю. М. Системи автоматизованого керування в аграрному секторі: сучасні підходи та реалізація з використанням контролерів Siemens. — Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2023. — № 198. — С. 95–102.

10. НУБіП України. Кафедра автоматики. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів». — К.: НУБіП, 2022. — 64 с

11. Мельник В. М. Програмовані логічні контролери Siemens:практикум з TIA Portal. — К.: Ліра-К, 2021. — 180 с

12. Ромащук О. М. Математичне моделювання енергетичних процесів у тепличних комплексах. — Автоматизація, інструментальне забезпечення та екологія виробництв, 2023. — № 3(47). — С. 22–29.

13. Іващук В. В., Сімончук В. О. Моделювання систем автоматизованого мікроклімату у промислових теплицях. — Енергетика та автоматика, 2022. — № 1. — С. 44–51.

14. Ковальчук В. П. Системи енергоефективного керування тепличним мікрокліматом. — К.: Наукова думка, 2020. — 140 с.

15. Сидорчук Р. А. Інновації в агропромисловому виробництві України. — Аграрна економіка, 2022. — № 2. — С. 17–25.

16. http://elektrozahid.com.ua/kontaktna-aparatura/454.html

17. http://oblenergo.cv.ua/rates-for-enterprises.php?cid=1601&page=1

18. http://kyivgaz.ua/ua/nashym-klijentam/ciny-ta-taryfy-na-gaz

19. http://www.kontaktor-m.info/

20. https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:66c777ed-45bd-48e2-aaa4-fd43a97971a4/02-TIA-Portal-V16.pdf