

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики, автомати-
ки і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.001.ПЗ

на тему «**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ПОВІТРЯ В
ТЕПЛИЦІ НА БАЗІ КТЗ АКУТЕК**»

Спеціальність:

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

Освітньо-професійна програма:

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

Гарант освітньої програми

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

Виконав

_____ Саламін Р.В.
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

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

КИЇВ-2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

О.О. Опришко

« ____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Саламіну Роману Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

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

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема кваліфікаційної магістерської роботи **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ПОВІТРЯ В ТЕПЛИЦІ НА БАЗІ КТЗ АКУТЕК»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 14.12.2023 року № 2268«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

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

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз впроваджених систем регулювання вологості.
2. Дослідження математичної моделі об'єкту по каналу вологості .
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розробка засобів операторського інтерфейсу процесу керування вологісним режимом.
7. Обрахування економічного ефекту.

Дата видачі завдання «15» грудня 2023 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Руденський А.А.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Саламін Р.В.

(Прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У даній випускній магістерській роботі проведено імітаційний процес формування температури та вологості в промисловій теплиці блочного типу для вирощування рослинної біологічної складової. В процесі цього дослідження отримано математичну модель та виконано аналіз процесів повітряного та теплового обміну на об'єкті в робочому просторі теплиці, як у присутності системи регулювання мікроклімату, так і без неї. Також описано основні структурні та алгоритмічні підходи, які можуть враховувати існуючі обмеження в керуванні системою. Визначено критерій можливостей їхнього застосування в подібних стандартних системах контролю.

В основі розрахунків та досліджень проведених в цій роботі показано часткову модернізацію системи автоматичного контролю вологості в теплиці. Дослідження ілюструє обґрунтування вибору сучасних засобів автоматизації для реалізації системи автоматичного контролю, а також шкалу ефективності функціонування спроектованої системи, техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування показаних рішень.

In this final master's thesis, a simulated process of temperature and humidity formation in a block-type industrial greenhouse for the cultivation of a plant biological component was carried out. In the process of this research, a mathematical model was obtained and an analysis of air and heat exchange processes was performed at the object in the working space of the greenhouse, both in the presence of the microclimate control system and without it. The main structural and algorithmic approaches that can take into account existing limitations in system control are also described. The criterion for the possibility of their application in similar standard control systems is defined.

Based on the calculations and research carried out in this work, a partial modernization of the automatic humidity control system in the greenhouse is shown. The study illustrates the rationale for the choice of modern automation tools for the implementation of the automatic control system, as well as the scale of the efficiency of the designed system, the technical and economic justification of the feasibility of using the solutions shown.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1.....	9
АНАЛІЗ ВПРОВАЖДЕНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ В АГРОПРОМИСИЛОВОМУ СЕКТОРІ	9
1.1. Вплив збурень на рослинну біологічну складову в умовах закритого ґрунту.....	9
1.2. Принцип роботи системи акумуляції тепла-холоду.....	12
1.3. Вентилювання в блочних теплицях - парниках.	13
1.4. Сучасні тепличні комплекси. Класифікація теплиць	15
1.5. Традиційний контроль вологості в теплиці. Регулювання вологості повітря.....	16
РОЗДІЛ 2.....	19
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....	19
2.1. Визначення методики дослідження	19
2.2. Оцінка існуючих моделей та аналіз по каналу вологості	20
РОЗДІЛ 3.....	23
ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ	23
3.1. Створення функціональної схеми блочної теплиці	23
3.2. Візуалізація функціонально-структурної схеми	25
3.3. Вибір складових елементів системи керування теплицею як об'єктом.....	26
РОЗДІЛ 4.....	30
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАНЬ ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРА	30
4.1. Визначення вихідних параметрів по розгінній кривій вологості ..	30
4.2. Розробка системи управління на базі даних отриманих в розрахунках	31

4.2. Вибір закону управління. Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора.....	35
4.3. Дослідження спроектованої системи управління на показники якості.....	42
4.4. Вибір регулятора	44
4.5. Опис принципу роботи електричної схеми ЕЗ	46
РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА SCADA-СИСТЕМИ ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ З ОПЕРАТОРСЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ	48
РОЗДІЛ 6.	49
АНАЛІЗ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	49
6.1. Загальний стан справ охорони праці та безпеки на сучасному виробництві повного циклу виробництва овочів.....	49
6.2. Вибір пускозахисної апаратури. Методика вибору пристроїв захисту	51
6.3. Розрахунок пристрою заземлювання для забезпечення нормальних умов експлуатації.....	53
6.4. Вибір пристрою грозозахисту	54
РОЗДІЛ 7.	57
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЛІЗАЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ СПРОЄКТОВАНОЇ СИСТЕМИ	57
7.1. Економічний обрахунок вартості впровадження запропонованої системи.....	57
ВИСНОВОК	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:	65

ВСТУП

Наростаючий дефіцит продовольства створює умови суттєвих покращень у сфері рослинництва. Впровадження теплиць дає можливість збільшення врожайності завдяки відповідному контрольованому середовищу. Водночас, надмірна вологість сприяє розмноженню шкідників та розвитку захворювань рослин, що значно знижує врожай. Існуючі методи регулювання вологості у теплицях є дорогими та потребують значних енергетичних витрат.

Дана магістерська робота присвячена темі випуску якісної сільськогосподарської продукції, для ефективного впливу на рослинну біологічну складову, яка діє в умовах невизначеності та мінімізації затрат на виготовлення.

Ключовою задачею автоматників в Україні, на відміну від наших західних колег є економія енергоресурсів.

В загальному, дана магістерська робота пропонує економічно вигідне, комплексно повне, стійке, та екологічне рішення для контролю рівня вологості в виробничому середовищі теплиць. За повного впровадження інноваційних рішень, котрі представлені в цій роботі, в Україні можливо досягти значної річної економії енергетичних ресурсів, що є суттєвою перевагою в умовах наростаючої глобальної кризи.

Майбутні дослідження подібних систем повинні бути зосереджені на подальшій глибокій оптимізації цих адаптивних стратегій контролю, щоб підвищити їхню ефективність серед раптових та динамічних змін навколишнього середовища.

У рамках магістерської роботи буде розглянуто основні підходи до автоматизації тепличного сектору, технічні характеристики, та можливості комплексу технічних засобів АКУТЕК, а також методи оптимізації параметрів вологості для різних типів рослин.

У цій магістерській роботі запропонував автоматизовану систему моніторингу та керування виробничим середовищем, а саме теплицею. Спроектована система включає первинні вимірювальні перетворювачі, такі як датчик

температури, датчик вологості, датчик освітленості та датчик вологості ґрунту, для збору основних параметрів довколишнього середовища теплиці.

Актуальністю обраної теми є той факт, що в сучасних умовах сільськогосподарського виробництва важливим аспектом є забезпечення оптимального мікроклімату в парнику-теплиці для підвищення рівня продуктивності розвитку рослин. Впровадження інтегрованої з комп'ютером системи керування вологістю, заснованої на використанні комплексу технічних засобів АКУТЕК, дозволяє автоматично контролювати і управляти кліматичними умовами в теплицях, підвищує ефективність виробництва, суттєво знижує втрати на електроенергію та усуває людський фактор в процесі підтримки стабільного клімату, оскільки підтримання оптимального рівня вологості повітря – це вплив на фотосинтез, обмін речовин і стійкість до хвороб рослин.

Метою дослідження є розробка системи керування на базі КТЗ АКУТЕК, покликаної забезпечити автоматизований моніторинг і управління мікрокліматичними та вологісними змінними на об'єкті.

Предметом дослідження будуть методи та технічне забезпечення спрямоване для покращень в бік мінімізації затрат людської праці та максимізації випуску якісної, екологічно чистої продукції.

Крім вищенаведених показників, суттєвою перевагою впровадження системи є використання SCADA (системи віддаленого моніторингу, диспетчерського контролю та забору даних для можливості курування з операторського місця) на основі IoT - Internet of Things. Побудована система SCADA контролює внутрішню температуру листя, ґрунту а також параметри температури та вологості повітря, враховує і параметри ґрунту: температуру, відносну вологість, рівень кислотності- рН, електропровідність, вміст азотної складової, фосфору та калію.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ВПРОВАЖДЕНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ В АГРОПРОМИСИЛОВОМУ СЕКТОРІ

1.1. Вплив збурень на рослинну біологічну складову в умовах закритого ґрунту



Рис.1.1. Вирощування томатів сорту Пінк Буш в тепличному господарстві

В умовах закритого ґрунту, таких як парники та теплиці, рослинна біологічна складова постійно піддається впливу зовнішніх і внутрішніх збурень. Такі перешкоди можуть негативно вплинути на проростання, розвиток та врожайність. Враховуючи, що в таких умовах рослини знаходяться у замкнутому середовищі, де всі фактори – температура, рівень вуглекислого газу, вологість та інші параметри – залежать від точності та своєчасності їх регулювання. Основними збуреннями, що впливають на рослини в умовах закритого ґрунту, будуть.

Коливання температури: Раптові зміни температурних показників повітря всередині парника можуть негативним чином вплинути на протікання нормальних фізіологічних процесів рослин, таких як фотосинтез, транспірація та ріст. Надто високі або критично низькі температури можуть призводити до стресового стану посівної культури, зниження темпу росту та можливих небажаних захворювань.

Зміни вологості повітря: Внутрішня вологість повітря є одним із основоположних факторів, що гарантовано впливають на процеси випаровування та живлення рослин. Низький рівень цього параметру може спричинити швидку витрату рослиною води через листя, що в свою чергу може призводити до зневоднення та часткового висихання. Однак, надмірна вологість сприяє стрімкому розвитку грибкових і бактеріальних захворювань, оскільки створює можливі сприятливі умови для розвитку патогенних організмів. Зокрема на Рис.1.1 представлено зовнішній вигляд томатів, котрі були вирощені з урахуванням всіх необхідних умов для нормального росту та розвитку.

Концентрація рівня вуглекислого газу (CO₂): вуглекислий газ є основним джерелом для протікання процесів фотосинтезу, недостатній рівень або його надмірна концентрація сукупно можуть порушувати нормальні процеси створення органічних речовин. Зниження в відсотковому плані концентрації CO₂ призводить до зменшення фотосинтетичної активності, як результат, - надлишок може вплинути токсичним чином на деякі з обраних рослин.

Технологічне забруднення повітря та ґрунту: В тепличних умовах закритих ґрунтів продукти життєдіяльності рослин, а також випаровування від добрив і пестицидів може акумулюватись, створюючи шкідливий несприятливий хімічний фон. Відтак це може викликати сповільнення розвитку рослин на початкових стадіях росту, зниження врожайності та навіть загибелі окремих чутливих до подібних впливів культур.

Коливання рівнем освітленості: Освітленість та інтенсивність світла прямопропорційно впливає на швидкість протікання фотосинтезу та інших важливих процесів. Обмежене, недостатнє або надмірне освітлення може бути джерелом стресу для рослин, що на майбутніх етапах розвитку може вплинути на їх загальний морфологічний розвиток.

Вплив шкідників і хвороб: В штучних умовах закритих ґрунтів швидке поширення хвороб та шкідників є додатковими факторами відповідних ризиків, враховуючи що ізоляція теплиць обмежує повітрообмін та вільну циркуляцію

повітря, і, може зменшувати ефективність природних механізмів контролю за патогенами.

Для зниження впливу збурень на рослинну біологічну складову в умовах закритого ґрунту необхідно впроваджувати автоматизовані системи моніторингу та управління мікрокліматом. Такі системи, засновані на використанні датчиків і регулюючих пристроїв, дозволяють забезпечувати оптимальні умови для росту і розвитку рослин, контролюючи ключові параметри середовища та швидко реагуючи на зміни.

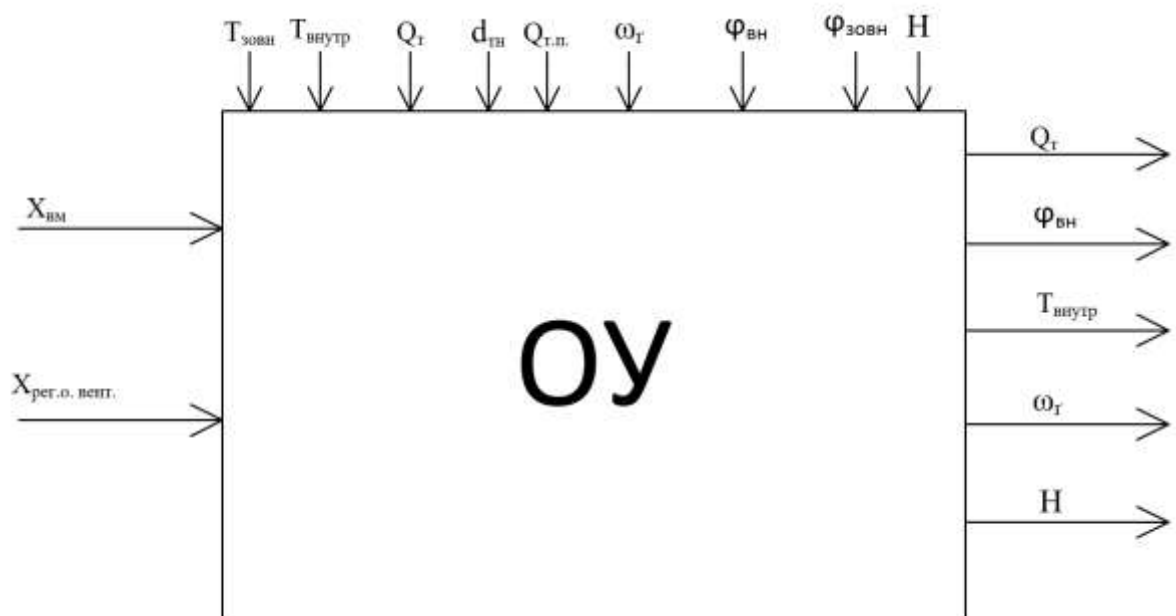


Рис.1.2. Збурення що чинять прямий вплив на об'єкт керування

На Рис.1.2. представлено основні збурення, що прямо чи опосередковано чинять суттєві впливи на об'єкт управління, враховуючи тему дослідження, до основних і важливих можна віднести:

$T_{\text{зовн}}$ – температура зовні виробничого приміщення теплиці

$T_{\text{внутр}}$ – температура всередині виробничого приміщення теплиці

$\varphi_{\text{вн}}$ – рівень вологості внутрішній

$\varphi_{\text{зовн}}$ – абсолютний рівень вологості зовні

1.2. Принцип роботи системи акумуляції тепла-холоду

У верхній частині виробничого приміщення, а в даному випадку в теплиці, назбирується гаряче вологе повітря. Якщо гаряче повітря знаходиться вгорі то збільшується різниця між внутрішнім повітрям в теплиці та зовнішнім – атмосферним. У випадку того, якщо різниця буде суттєво значною то охолодження самої теплиці буде стрімким та швидким, тому це тепло використовується неефективно. Для того щоб це тепло повернути в систему, зазвичай встановлюють вентилятор і це повітря заганяється через труби в землю. Враховуючи що в центрі теплиці температура в середньому $+28^{\circ}\text{C}$ - $+30^{\circ}\text{C}$, а температура землі $+18^{\circ}\text{C}$ - $+20^{\circ}\text{C}$.

Тепло яке проганяється через труби системи акумуляції тепла-холоду в залежності від довжини, потужності, швидкості і т.д.

Якщо взяти вентилятор з номінальною потужністю роботи 1 кВт то в систему можна повернути тепла на 100 кВт, що є достатньо вагомим параметром який впливає на економічну ефективність системи.

До прикладу, - в червні зранку підіймається сонце, одразу температура в теплиці починає підійматись достатньо швидко для включення акумуляції-тепла холоду і температура буде знижуватися і триматися зниження буде на 4-5 градусів в порівнянні без акумуляції, протягом 5-6 годин. До моменту поки температура повітря і ґрунту не стане однаковою, і буде невелика ефективність.

Досить важливою перевагою на впровадження такої системи також буде наступний приклад. Взимку повітря досить вологе, коли воно проганяється через труби за рахунок того що повітря знижується в температурі волога виходить у вигляді роси безпосередньо на стінках самих труб. Труби повинні бути дренажні, тобто вся ця волога повинна повертатись назад в ґрунт і таким чином вдасться зменшити вологість в виробничому приміщенні в зимовий період.

Потрібно розуміти що така система буде найбільш ефективною в періодах міжсезоння. Починаючи з вересня по початок грудня, коли є досить багато сонячних днів. Теплиця буде нагріватись і надлишок тепла можна буде повер-

тати в систему забираючи його зверху. В зимовий період, а саме в грудні -січні ефективність системи достатньо сильно падає, і в кращому випадку можна розраховувати на ефективність 25– 34%. Найефективніший період роботи це вересень- жовтень- листопад і лютий-березень-квітень. В травні та інших місяцях в теплиці вже досить гаряче і тут починає працювати відмінний принцип – охолоджуємо за рахунок акумуляції тепла-холоду.



Рис.1.3. Схема пристосування автоматичного провітрювання теплиці

Так як вологість та температура нерозривно пов'язана між собою на Рис.1.3. представлено схематичне зображення виробничого приміщення теплиці для можливості провітрювання та зменшення вологості.

1.3. Вентилювання в блочних теплицях - парниках.

Вентиляція в теплиці виконує декілька важливих функцій: циркуляцію повітряного потоку та повітрообмін. І те, і інше важливо в процесі контролю над температурою та рівнем регулювання вологості, а також підтримання повітряного потоку, потрібного для росту і продуктивності сільськогосподарських

культур. Правильна циркуляція повітряного потоку довкола врожаю буде стимулювати фотосинтез, це зменшує захворюваність, знижує температурні градієнти і допомагає створювати більш рівномірний тепличний мікроклімат. Кожна посівна культура висуває відмінні екологічні вимоги, а також впливає на внутрішню екосистему теплиць по-різному.

Система вентиляції залежить від обсягів врожайності, типу та розміру самої теплиці. Будова теплиці повинна бути відповідною до цих вимог, а також брати до уваги кліматичні особливості області, де розташовується теплиця, що прямим чином буде впливати на зміну опалення та охолодження.

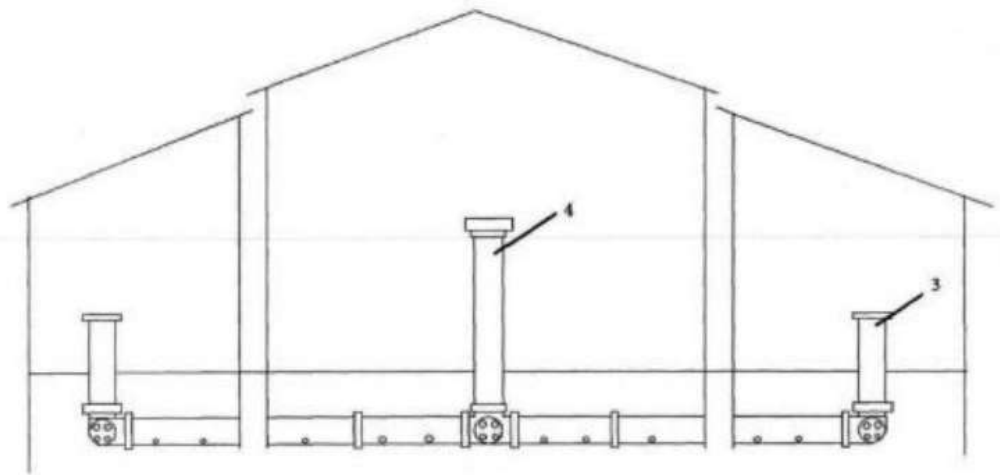


Рис.1.4. Схематичне зображення схеми вентиляції на парнику

Фрамужне вентиляція теплиці слід розглянути як систему з ідеальним об'ємом процесу повітрообміну (тобто кількість повітрообмінів, виконаних за одиницю часу). Об'єм повітря в теплиці (визначається як довжина на ширину на висоту теплиці в кубічних метрах) визначає потік повітря (вимірюється в кубічних метрах за хвилину), необхідний для досягнення потрібного рівня повітрообміну.

Ідеальна швидкість повітрообміну та відповідна швидкість повітряного потоку змінюється по закону, залежно від температури навколишнього середовища та конкретних потреб культури на різних стадіях розвитку.

Грамотно спроектована система вентиляції буде працювати за заданими показниками, забезпечуючи належну вентиляцію з мінімальними енергетичними затратами.

1.4. Сучасні тепличні комплекси. Класифікація теплиць



Рис1.5. Теплиця типу Venlo в Нідерландах

Останнім часом в сільськогосподарському секторі спостерігається різке зростання використання тепличних систем виробництва в якості альтернативи зростаючому попиту на продовольство по всьому світу. Контрольоване середовище в тепличних системах може забезпечити захист харчових продуктів і високий врожай в умовах невеликого обмеженого простору, особливо в густозаселених районах. Завдяки способам вирощування в закритому ґрунті на поживних середовищах в строго контрольованих умовах досягається висока ефективність теплиць як засобів для вирощування харчових продуктів.

1.5. Традиційний контроль вологості в теплиці. Регулювання вологості повітря



Рис.1.6. Система туманоутворення реалізована на одному з провідних підприємств по вирощуванню квітів



Рис.1.7. Форсунки-розприскувачі систем збільшення вологості

Традиційний метод зниження вологості в теплиці полягає в відкритті фрамуг у теплиці і введенні сухого повітря ззовні.

Ця методика може бути ефективною, коли на вулиці сприятливі погодні умови. Однак у багатьох випадках опалення та вентиляція є вкрай неефективними, що призводить до надмірного споживання енергії та високих витрат.

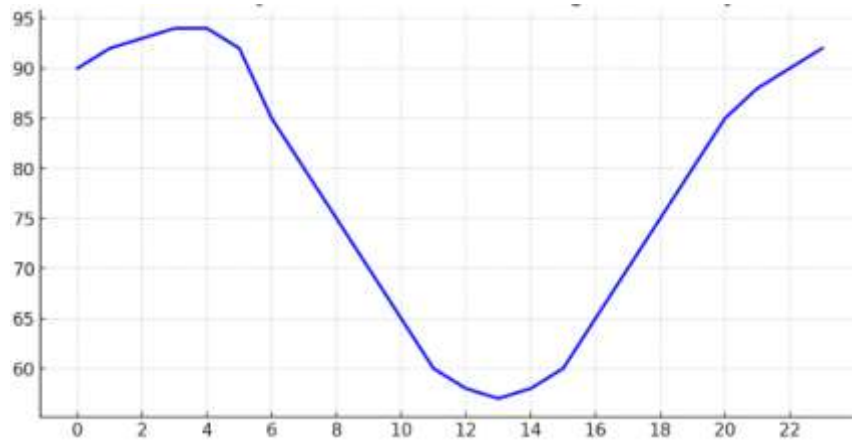


Рис.1.8. Графік залежності вологості повітря та часу доби

На рис.1.8. представлено графік зміни вологості повітря в теплиці протягом жаркого літнього дня. Він показує, залежність, як вологість вища вночі та вранці, відповідно знижуючись до мінімуму під час найгарячіших годин дня.

Крім того, за певних умов, наприклад вночі, це може бути абсолютно неефективним.

Виробники теплиць витрачають велику кількість енергії на нагрівання або охолодження теплиці, щоб підтримувати оптимальні умови вирощування. Але при провітрюванні акліматизоване повітря виходить з теплиці. Втрата цього тепла є величезною тратою енергії. Отже, по суті, вентиляція та опалення призводять до петлі зворотного зв'язку, що призводить до зростання витрат на енергію.

Вентиляція створює додаткові проблеми. Відсутність однорідності клімату, яку він створює в теплиці, збільшує ймовірність спалахів хвороб і призводить до нерівномірної та неоптимальної якості продукції.

Мульчування ґрунту також покращує його температурний, повітряно-газовий та вологісний режими. Для мульчування вносять рослинну біомасу (солому, торф, тирсу), синтетичні плівки або агроволокно. Особлива роль мульчі проявляється в утепленні кореневої системи рослин за холодної дощової погоди. Це підвищує активність кореневої системи, сприяючи тим самим отриманню раннього і більшого урожаю плодів із вищою якістю. Для оптимального прогрівання ґрунту доцільним буде прикрити його плівкою щонайменше за два тижні до посадки чи засіву.

Мульчування ґрунту світлонепроникною плівкою в поєднаннях з краплинним зрошуванням дозволяють зекономити воду для поливу, та створюють сприятливі умови для росту кореневої системи та й всієї рослини. Звільняє ґрунт від бур'янів у рядках, попереджує його ущільнення, сприяє підвищенню урожайності.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1. Визначення методики дослідження

Математичне моделювання може бути реалізоване у вигляді «чорної скриньки» або «білої скриньки» в залежності від доступної інформації. У моделях чорного ящика оцінюється функціональний зв'язок між змінними, і числові параметри в цих функціях, також зазвичай застосовується підхід штучних нейронних мереж, який зазвичай не вимагає нічого, крім датасету – набору вхідних і вихідних даних.

В ході експериментального дослідження застосовувалось імітаційне моделювання мікрокліматичних процесів на базі програмних середовищ MathCAD і MATLAB-Simulink. Моделювання виконане в дані магістерській базувалось на пропорційній відповідності характеристик об'єкта моделі, що забезпечує типову структурну схожість між моделлю та реальним об'єктом: де кожний важливий елемент об'єкту має аналогічний елемент в моделі. Під час створення імітаційної моделі описується відповідний закон функціонування елементів об'єкта та їхні взаємозв'язки, тобто моделюється функціонування об'єкту, процесу чи системи через певний набір схожих алгоритмів. Ці алгоритми відтворюють реальні об'єкти явища, що складаються в процес чи систему, зберігаючи їхню логіку та послідовність у часі. Таке моделювання дає змогу отримати дані про стан процесу або системи в конкретний момент на основі набору вхідних даних.

Математичні імітаційні моделі є алгоритмічними моделями, вони описують розвиток процесу з плином часу за визначених зовнішніх впливів на процес (об'єкт). Робота з моделлю полягає у проведенні експерименту, в якому процес у моделі імітує процес у реальному об'єкті. Таке дослідження об'єкта через його імітаційну модель зводиться до аналізу характеристик процесу на час експерименту.

Імітаційна модель являє собою обчислювальний експеримент, реалізований на ЕОМ за допомогою математичних моделей, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів чи систем. Важливою перевагою імітації є можливість керування часовим масштабом, оскільки динамічний процес у моделі відбувається у так званому системному часі, що імітує реальний час.

2.2. Оцінка існуючих моделей та аналіз по каналу вологості

Узагальненою математичною моделлю тепличного господарства буде відношення, де змінні парникових станів класифікуються на змінні стану рослин та змінні стану кліматичних умов:

$$\frac{dX_p}{dt} = g(X_p, X_c, U_e) \quad (2.1)$$

$$\frac{dX_c}{dt} = f(X_p, X_c, U_e, U_c), \quad (2.2)$$

де X_p – змінні стану рослини, розподіл біомаси у складових рослини

X_c – змінні стану клімату(в конкретно даному випадку вологість та концентрація вуглекислоти)

U_e – зовнішні входні дані, такі як вологість, впливи вітру та сонячної радіації

U_c – постає в ролі керуючих входів як додаткове освітлення, його інтенсивність.

Раніше, відомий вчений Ван Хентен дав пропозицію математичної моделі для вирощування огірків з врахуванням структурних та неструктурних скупчень біомаси:

$$\frac{dX_n}{dt} = c_\alpha \Phi_{phot} - r_{gr} X_s - \Phi_{resp} - \frac{1 - c_\beta}{c_\beta} r_{gr} X_s, \quad (2.3)$$

$$\frac{dX_s}{dt} = r_{gr} X_s, \quad (2.4)$$

де X_s та X_n – структурні і неструктурні біомаси

Φ_{phot} – це поглинання діоксиду вуглецю з врахуванням процесів фотосинтезу

r_{gr} – коефіцієнти перетворень від структурної до неструктурної біомаси

Φ_{resp} - кількість вуглеводів що застосовується в час процесу дихання рослин

Отже, загальне поглинання рослинами вуглекислого газу через фотосинтез можна проглянути в формулі:

$$\Phi_{phot} = \Phi_{phot,max} [1 - \exp(-c_k c_{lar,s} (1 - c_t) X_s)], \quad (2.5)$$

де Φ_{phot} – загальне поглинання діоксиду вуглецю

$c_{lar,s}$ – загальна площа листка рослини для напруження біомаси

$1 - c_t$ – виступає співвідношенням сухої зеленої маси до загальної ваги врожаю.

Що стосується досліджень на обрану тему, то на етапах побудови математичної моделі вологообміну в парнику, необхідно врахувати основні параметри що чинять впливи на вологість повітря у виробничому середовищі. Пропонується розгляд етапів побудови.

Основне рівняння вологісного балансу можна виразити у вигляді диференційного рівняння виду:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{Q_{in} * H_{in} - Q_{out} * H}{V} + E - L, \quad (2.6)$$

Звідси:

Q_{in} – об'єм потоку зволоженого повітря зовні;

Q_{out} – витік зволоженого повітря з виробничого приміщення;

H_{in} – рівень вологості що надходить зовні;

V – об'єм парнику;

E – швидкість натурального випаровування з поверхні листка рослини;

L – величина швидкості осаду конденсату на стінках та інших горизонтальних поверхнях.

Моделювання процесів випаровування води з поверхні листа.

Швидкість випару – E визначається переліком непередбачуваних змінних, - вологістю, температурою та фотосинтетичною активністю. В загальному вигляді запис може мати наступний вигляд:

$$E = f(T, H \text{ тип рослини}), \quad (2.7)$$

де f – визначає емпіричну функцію, яка може містити коефіцієнт транспірації для конкретного виду рослин

Наступним чином розрахунок включає отримання даних про швидкість конденсації L , що коливається в залежності від різниці температур між повітрям всередині об'єкту та всіма поверхнями теплиці. На даному етапі необхідно ввести коефіцієнт конденсації k_c котрий формулює конденсацію за перепадом температур:

$$L = k_c(T - T_{\text{стінки}}), \quad (2.8)$$

Модель вентилявання стандартним чином визначена по залежності повітрообміну та включає коефіцієнт повітрообміну:

$$Q = k_v(T - T_{out}), \quad (2.9)$$

де k_v – що корелюється розмірами вентиляційних отворів фрауг, кута їхнього відкриття та їх положення в конкретний момент часу.

Точна модель по зміні вологості може бути представлена як комплексна система диференціальних рівнянь, в якій кожне рівняння є описом відповідного конкретного процесу:

$$\begin{cases} \frac{dH}{dt} = \frac{Q_{in} * H_{in} - Q_{out} * H}{V} + E - L \\ \frac{dT}{dt} = \frac{Q_{sun} + Q_{heater} - Q_{vent} - Q_{trans}}{m * C} \end{cases} \quad (2.10)$$

Модель вивчає впливи змін параметрів системи що діє в умовах невизначеності на рівень вологості в теплицях, на базі неї можуть бути імплементовані нові системи управління для оптимізації умов вирощування рослин.

РОЗДІЛ 3.

ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ

3.1. Створення функціональної схеми блочної теплиці

Основною задачею розробки функціональної схеми є схематичний ілюстрований показ структури системи керування та взаємозв'язок між її елементами для забезпечення автоматизації технологічних процесів. Щоб створити таку схему, потрібно виконати кілька основних кроків:

Аналіз об'єкту автоматизації повинен включати визначення основних технічних показників та аспектів, котрі потрібно контролювати та налаштовувати. У даному випадку це система туманоутворення для контролю вологості в теплиці. На Рис.3.1 представлено.

З ціллю упрощення керування вологістю робочий простір приміщення поділено на деякі технологічні зони. Якщо розглядати це зі сторони моделювання одну з зон можна буде вважати об'єктом з зосередженими параметрами:

Розміри одинарної секції – 4,6 м * 8,3 м = 38,13 м³

Кількість секцій – 165 шт

Сумарна площа тепличного господарства – $165 * 38,13 \text{ м}^3 = 6291 \text{ м}^3$

Величина висоти колон (h) в центрі – 4,6 м, перепад висоти незначиний, а тому скраю скраю – 4,1 м

Площа поверхні під склом – $F_{\text{ор}} = 6291 \text{ м}^3 * 1,008 + 2 * 4,1 \text{ м} * 38,13 \text{ м} = 6653 \text{ м}^3$

Товщина скла складає – 4,3 мм = 0,0043 м

А робочий об'єм приміщення теплиці – $V_p = 6653 \text{ м}^3 * 4,6 \text{ м} = 30603 \text{ м}^3$

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

Товщина стінок труб – 1,89 мм $\approx 0,00189 \text{ м}$.

Сукупний об'єм труб – $3,14 * 0,0567^2 / 4 * 5674 \approx 14,32 \text{ м}^3$

Об'єм розподільчих ліній (внутрішніх) – $3,14 * 0,145^2 / 4 * 263 \approx 4,34 \text{ м}^3$.

Температура води в верхньому та нижньому контурі опалення – 92-95°C.

Коефіцієнт огороженості парника – 1,254 Вт/(м²·К).

Нормальна внутрішня температура повітря – 22,5°C.

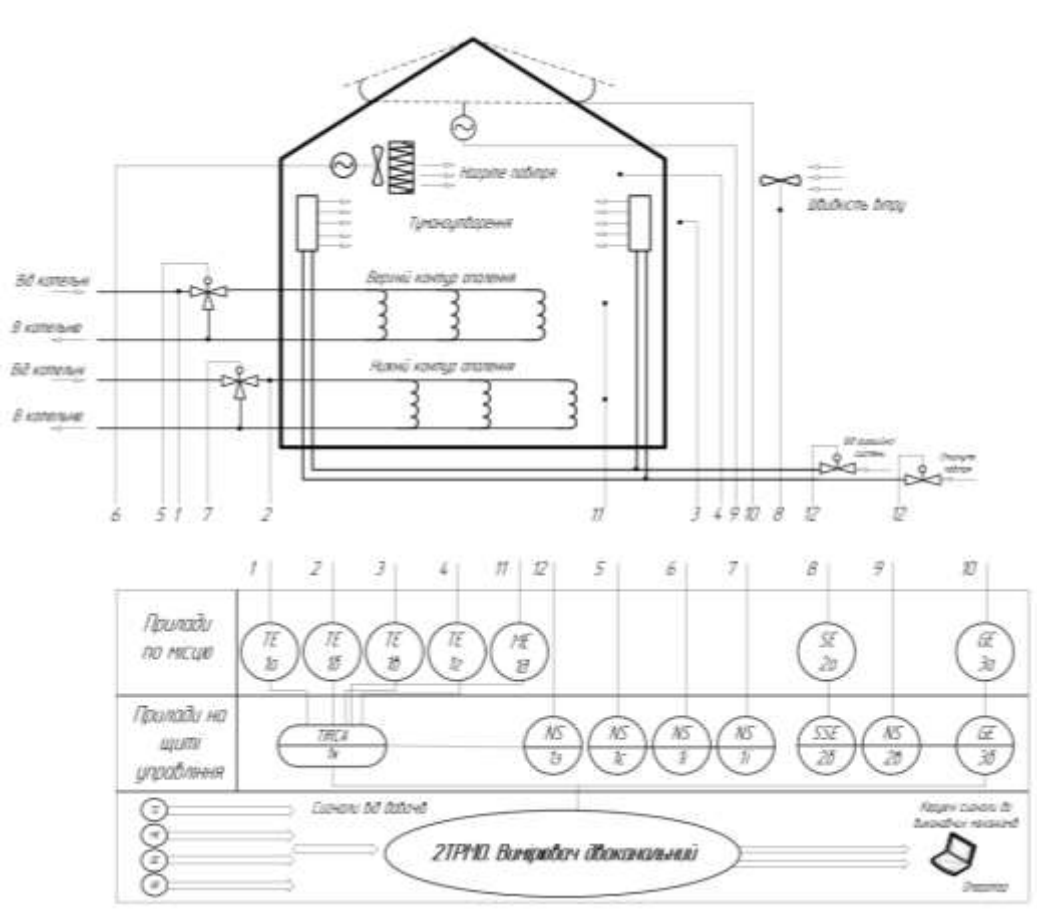


Рис.3.1. Функціональна схема вентиляування та керування рівнем вологості

3.2. Візуалізація функціонально-структурної схеми

На Рис.3.2. представлено Функціональну блок-схему що може бути корисною та повинна бути виконана на етапі проєктування.

І може знадобитись для розуміння наступних аспектів:

1) Визначення необхідних ресурсів та їх розташування, щоб побачити цілісну картину системи.

2) Аналіз елементів, необхідних для отримання бажаного рівня автоматизації.

3) Передбачення можливостей обмеження та проблем, таких як затримки сигналу, переривання зв'язку та перешкод сумісності протоколів.

4) Створення бази для наступних етапів проєктування, таких як вибір конкретного обладнання, детальне проєктування апаратних і програмних рішень.

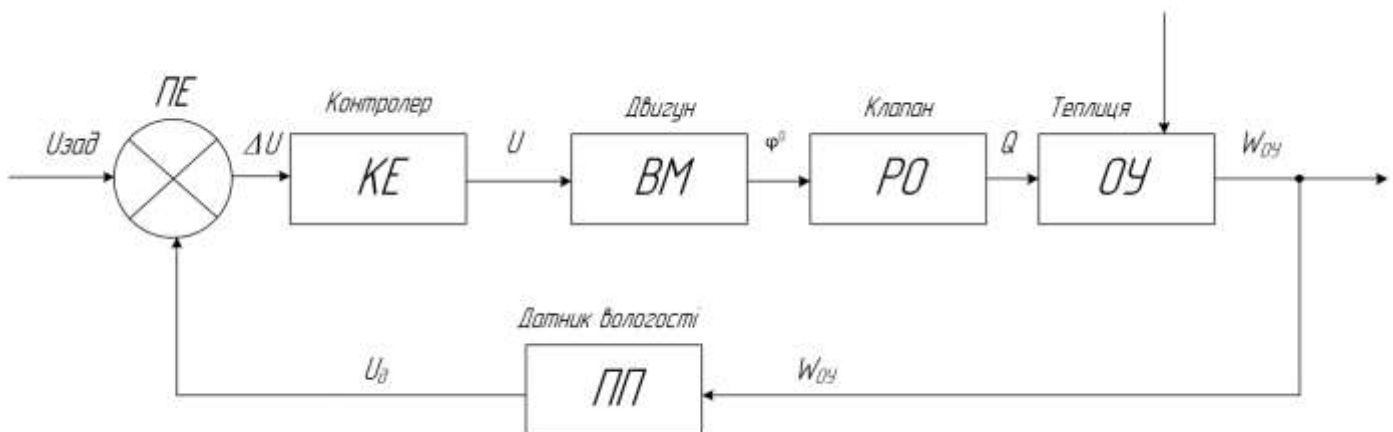


Рис.3.2. Функціонально-структурна схема на етапі проєктування

3.3. Вибір складових елементів системи керування теплицею як об'єктом

Вибір спиймаючого елемента для контролю рівня вологості.

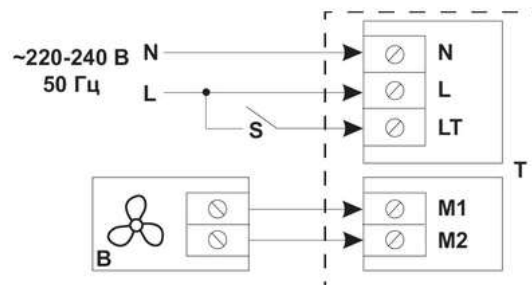


Рис.3.3 Вентс ТН-1,5 Н (В)

Первинний вимірювальний перетворювач вологості з таймером задачі параметрів в ручному режимі - Вентс ТН-1,5 Н (В) автоматично включається при перевищенні заданого рівня вологості. Після досягнення необхідного рівня вологості вентилятор вимикається не відразу, а із затримкою по таймеру.

Рівень задатчика можна виставити від 60 до 90 %. Час затримки спрацювання роботи по таймеру можна задати від 2 до 30 хвилин.

Схема підключення



В - вентилятор

S - перемикач

T - датчик

Рис.3.4. Схема включення пристрою Вентс ТН-1,5 Н (В) в коло електричного живлення по керуванню

Таблиця 3.1. Технічні характеристики ПВП - Вентс ТН-1,5 Н

Напруга, В	220-240
Вихідна потужність, не більше, ВА	330
Струм навантаження, не більше, А	1,5
Габарити, мм	162x80x70
Навколишня температура, °С	от +1 до +45
Захист, клас	IP 30
Вага, кг	0,4

Вибір виконавчого механізму системи вентилявання



Рис.3.5. Електропривід Belimo CM230

Електродвигун Belimo CM230 призначений для управління повітряною заслінкою в системах вентиляції теплиць, з найбільшою площею перерізу до 0,4 м². Привід забезпечує зусилля 2 Н·м.

Привід підтримує триточкову схему керування. Відкриття або закриття заслінки здійснюється за однопровідною схемою.

Пристрій монтується на вал заслінки і оснащений фіксатором, що запобігає його обертанню. Під час роботи привід автоматично зупиняється, досягаючи кінцевого положення. Для ручного керування потрібно піднести брелок-магніт до спеціального місця на корпусі приводу, після чого редуктор виходить із зачеплення, дозволяючи вручну переміщати заслінку. Кут повороту налаштовується за допомогою механічних упорів.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики Velimo CM230

Параметр	Величина
Обертальний момент, Нм	2 (при номінальній напрузі)
Площа заслінки, м²	0,4
Час повороту, секунд	75 сек / 90°
Напруга живлення	230 АС 50/60 Гц
Діапазон номінальної напруги, В	85-265, 50-60 Гц
Розрахункова потужність, ВА	2
Споживана потужність, Вт	1
Точність позиціонування	± 5%

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАНЬ ТА ВИБІР РЕГУЛЯТОРА

4.1. Визначення вихідних параметрів по розгінній кривій вологості

На рис. 4.1 представляється розгінна крива блочного парника по каналу витрата вологості повітря при Δ зміні витрат води на 1.54 л/с

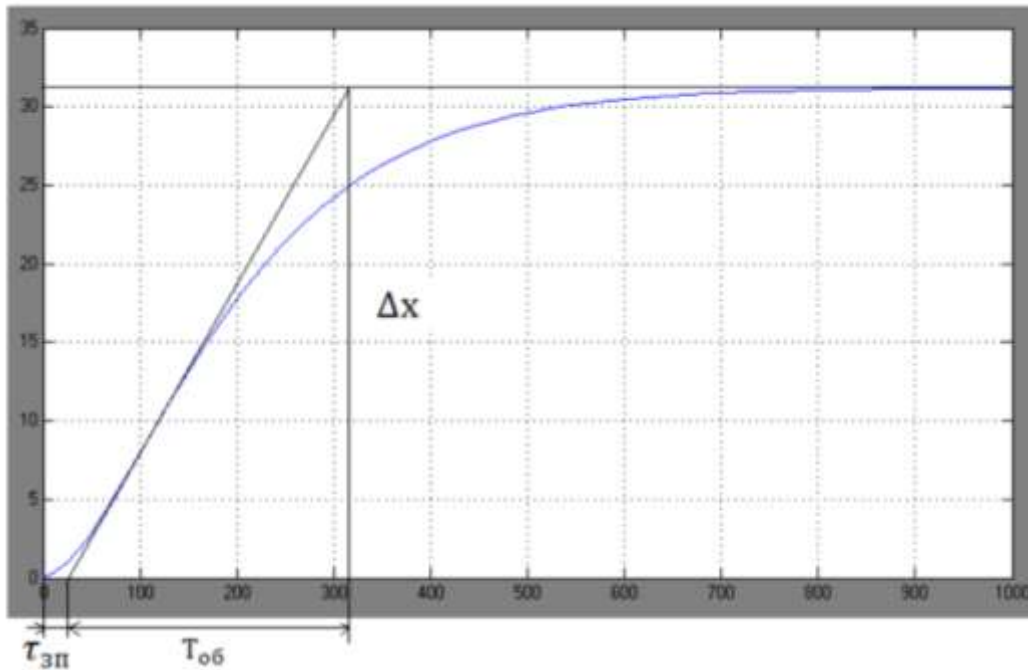


Рис.4.1 Розгінна крива парнику що відповідає за зміну вологістю повітря

Отримання підходящих параметрів передатної функції через точку переги-ну розгінної характеристики проведено лінію, на фото це дотична, котра дає ви-ділити постійну часу об'єкту $T_{об}$ та чисте запізнювання $\tau_{зп}$,

З скраншота видно що

$$\tau_{зп} = 26,7 \text{ с}, \quad T_{об} = 325 \text{ с},$$

Звідси, Коефіцієнт передачі (K_p) визначається як відношення між приростом внутрішньої відносної вологості до приросту витрати води:

$$K_{об} = \frac{\Delta\phi}{\Delta Q} = \frac{31}{1.53} = 20.1 \frac{\%}{\frac{M^3}{XB}}, \quad (4.1)$$

Отже, звідси можна вивести передатну функцію об'єкта, котра буде мати наступний вигляд:

$$W_{об}(s) = \frac{20.1}{325s + 1} \times e^{-25s}. \quad (4.2)$$

А передатна характеристика системи по збуренню, виглядатиме так:

$$W_{об}(s) = \frac{8}{325s + 1} \times e^{-25s}. \quad (4.3)$$

4.2. Розробка системи управління на базі даних отриманих в розрахунках

Визначення передаточних функцій первинного вимірювального перетворювача (далі ПВП) та виконавчого механізму (ВМ).

Час запізнення ПВП можна не враховувати, оскільки його значення буде несуттєвим.

Передатна функція ПВП:

$$T_{пп} = 20 \text{ с}$$

$$K_p = \frac{\Delta U}{\Delta\phi} = \frac{10 - 0}{90 - 0} = 0,11 \frac{В}{\%}, \quad (4.4)$$

$$K_p = 0,11$$

$$W_{пп} = \frac{0,11}{20s + 1}. \quad (4.5)$$

Передаточна функція розпилювача (ВМ)

За параметрами динамічних змін, розпилювальні системи подібних типів можуть виконуватись у вигляді безінерційною ланкою та будуть представляти передатну характеристику наступного виду:

$$W_{\text{ВМ}} = K_{\text{ВМ}}, \quad (4.6)$$

Дією задачі ВМ є дія регулятора, представлена у відсотковому значенні, яка визначається пропорцією тривалості подачі води для розпилювання в системі до періоду квантування:

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{\Delta Q}{\Delta u}, \quad (4.7)$$

На основі вищенаведених даних про розміри теплиці, можна зробити висновок, що кожен розпилювач повинен мати, щонайменше, продуктивність 5- 6 літрів прогону води за хвилину.

Обраховано, що в парнику з заданими розмірами 59×41 м їх повинно бути встановлено через кожні 3 метри 312 штук. Тоді, загальна витрата при зміні вхідної величини ВМ на Δu буде= 10 %

$$\Delta Q = 312 * 5 = 1530 \frac{\text{л}}{\text{хв}} = 1.53 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}, \quad (4.8)$$

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{1.53}{10} = 0.153 \frac{\text{м}^3}{\text{хв} * \%}, \quad (4.9)$$

Настав момент необхідності вибору регулятора та його параметрів налагодження роботи.

Визначаємо передатну характеристику по приведеному об'єктові.

Для цього застосовується відома формула:

$$W_{\text{пр}} = W_{\text{оу}} * W_{\text{вм}} * W_{\text{пп}}, \quad (4.10)$$

$$W_{\text{пр}} = \frac{20.1}{325s + 1} \times e^{-25s} * 0,153 * \frac{0,11}{20s + 1}, \quad (4.11)$$

$$W_{\text{пр}} = \frac{0,338}{(325s + 1) * (20s + 1)} \times e^{-25s}, \quad (4.12)$$

Опісля отримання передатних характеристик сукупності обраних елементів системи керування. В середовищі Matlab Simulink показано модель приведенного об'єкту (Рис. 4.2.):

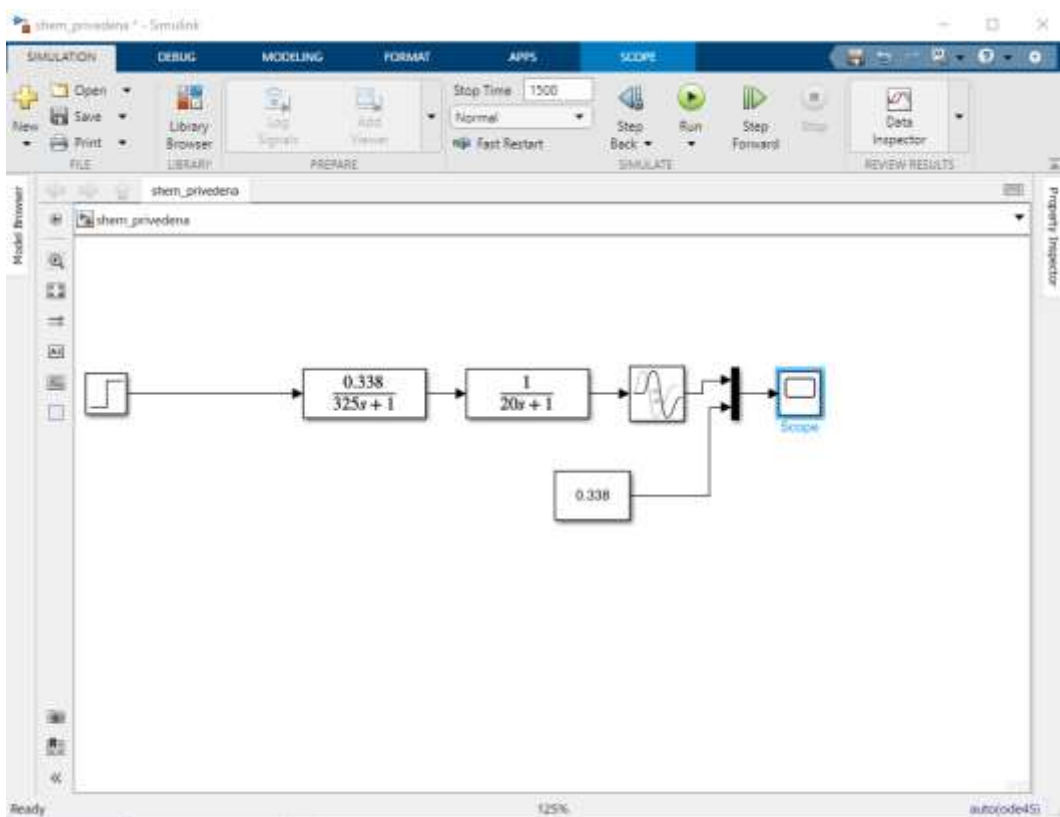


Рис. 4.2. Модель приведенного об'єкту в середовищі Matlab Simulink

Осцилограф вивів такий перехідний процес приведенного об'єкту (рис. 4.3.)

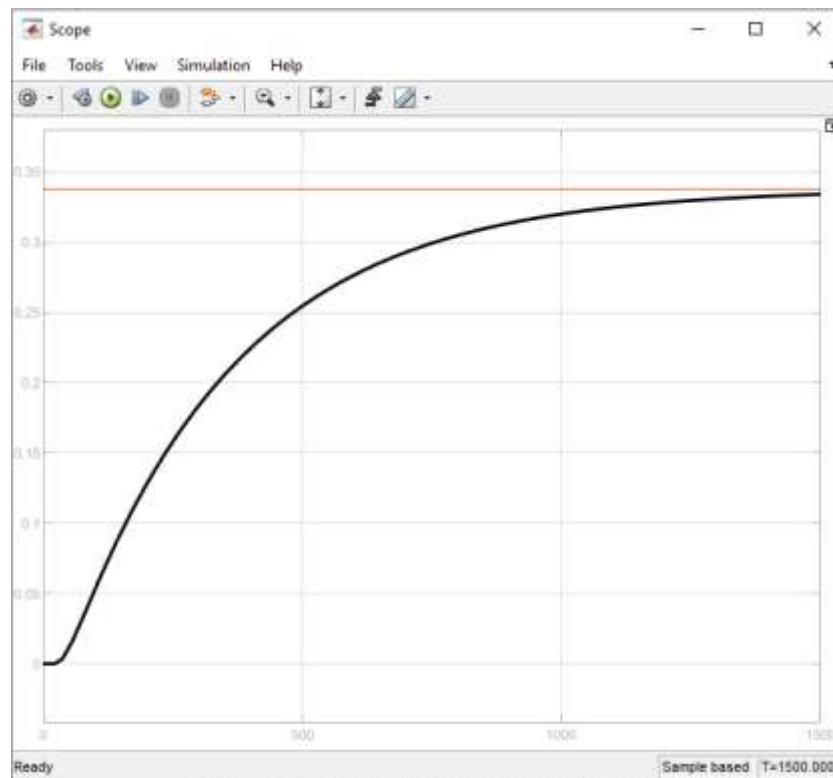


Рис. 4.3. Перехідний процес приведенного об'єкту

Після отримання перехідного процесу приведенного об'єкту визначаємо часові параметри (рис.2.6).

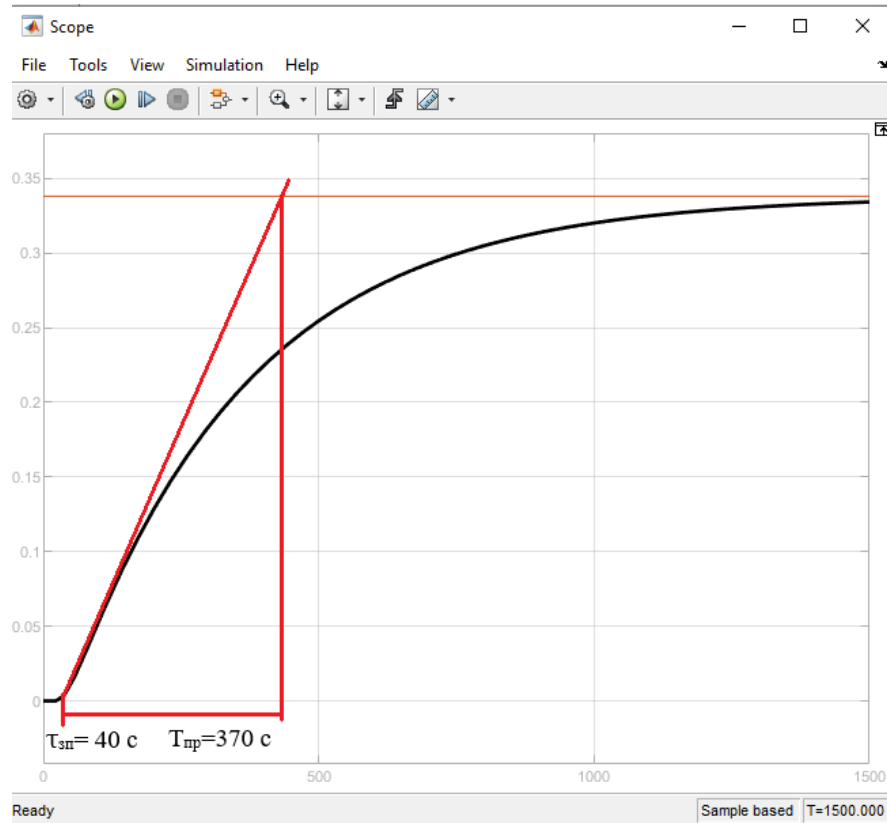


Рис. 2.6 Визначення часових показників згідно отриманого графіку приведенного об'єкту

4.2. Вибір закону управління. Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

Для визначення підходящого закону керування потрібно спиратись на відому тотожність - $\tau_{пр} / T_{пр}$:

$$\frac{\tau_{пр}}{T_{пр}} = \frac{40}{370} = 0.108, \quad (4.13)$$

Дана тотожність передбачує використання неперервного закону регулювання.

Як можливий з вибірки варіантів візьмемо до уваги ПІ-регулятор, котрий має передатну характеристику, представлену в формулі:

$$W_{п}(s) = K_{п}, \quad (2.14)$$

Для продовження розрахунку потрібно оцінити статичну похибку. Для подібної статичної системи коефіцієнт статизму можна обрахувати за наступною формулою:

$$K_{ст} = \frac{K_p \times K_{пр}}{1 + K_p \times K_{пр}}, \quad (2.15)$$

де K_p – коефіцієнт передачі пропорційного регулятора (візьмемо $K_p=10$), тоді підставивши дані, рівняння буде мати наступний вигляд:

$$K_{ст} = \frac{10 \times 0,338}{1 + 10 \times 0,338} = 0,77, \quad (2.16)$$

А, похибка статизму отримає наступний вигляд:

$$\Delta = 1 - K_{ст} = 1 - 0,77 = 0,23 = 23\%, \quad (2.17)$$

23% це статична похибка що не задовольняє ТЗ та необхідні параметри системи, тому, виходячи з цього, можна зробити заключення, що звичайний П-алгоритм не задовольняє умовам задачі, відповідно тут його застосовувати нецільно.

До розгляду пропонується приклад розв'язку для ПІ-закону регулювання. Експериментальним способом доведено, що статична похибка, при його впровадженні в систему буде прагнути до 0.

Отримаємо параметри настройок регулятора K_p , T_i .

Для цього проведемо розрахунок в середовищі Mathcad.

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

$$c := 0.56 \quad W(s) := \frac{0.338}{370 \cdot j \cdot s + 1} \cdot e^{-40j \cdot s} \quad R := \frac{1 - c}{2} = 0.22$$

$$x0 := -R \quad s := 0, 0.001 \dots 0.2 \quad y(x) := \sqrt{R^2 - (x - x0)^2}$$

Рис.2.7 Обрахунок для побудови годографа АФЧХ

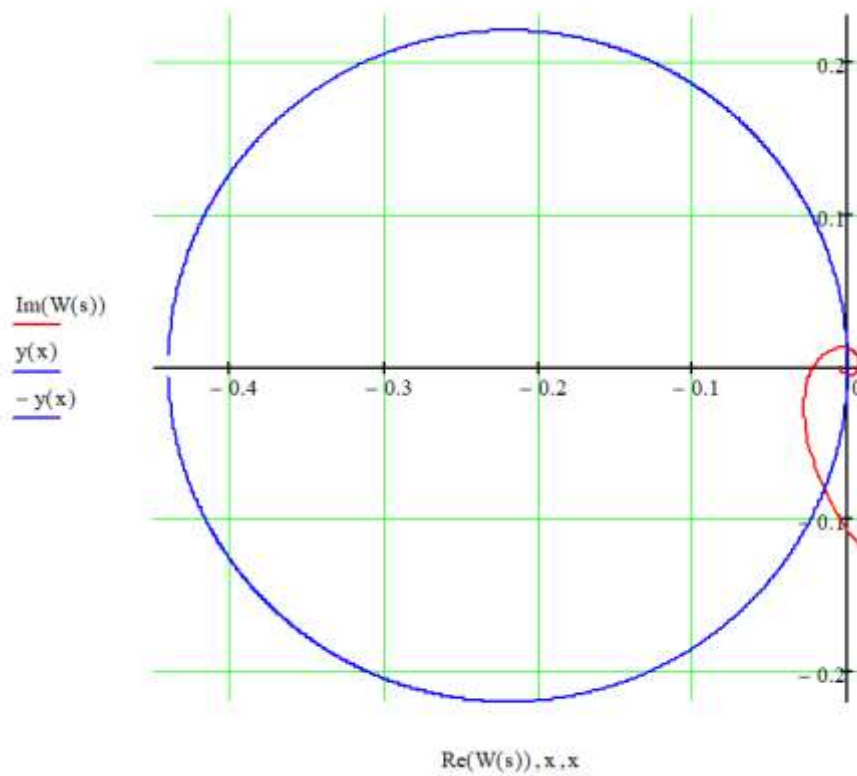


Рис.2.8. Побудова кола із заданим радіусом R за допомогою годографа АФЧХ

$$i := 0..5$$

$$\omega_i := \begin{pmatrix} 0.015 \\ 0.02 \\ 0.025 \\ 0.03 \\ 0.035 \\ 0.04 \end{pmatrix}$$

$$\operatorname{Re}(W(\omega_i)) =$$

-0.0245342
-0.0279549
-0.0282829
-0.0271665
-0.0252276
-0.0227692

$$\operatorname{Im}(W(\omega_i)) =$$

-0.0546843
-0.0356002
-0.0228005
-0.0134814
-0.0063843
-0.0008716

Рис.2.9. Побудова реальної та уявної складової АФЧХ годографу

$$k_i := \frac{\operatorname{Im}(W(\omega_i))}{\operatorname{Re}(W(\omega_i))} \quad 0, -0,001 \dots -1$$

$$y_0(x) := k_0 \cdot x$$

$$y_1(x) := k_1 \cdot x$$

$$y_2(x) := k_2 \cdot x$$

$$y_3(x) := k_3 \cdot x$$

$$y_4(x) := k_4 \cdot x$$

$$y_5(x) := k_5 \cdot x$$

Рис.2.10. Рівняння прямих, допоміжних дотичних до АФЧХ годографу

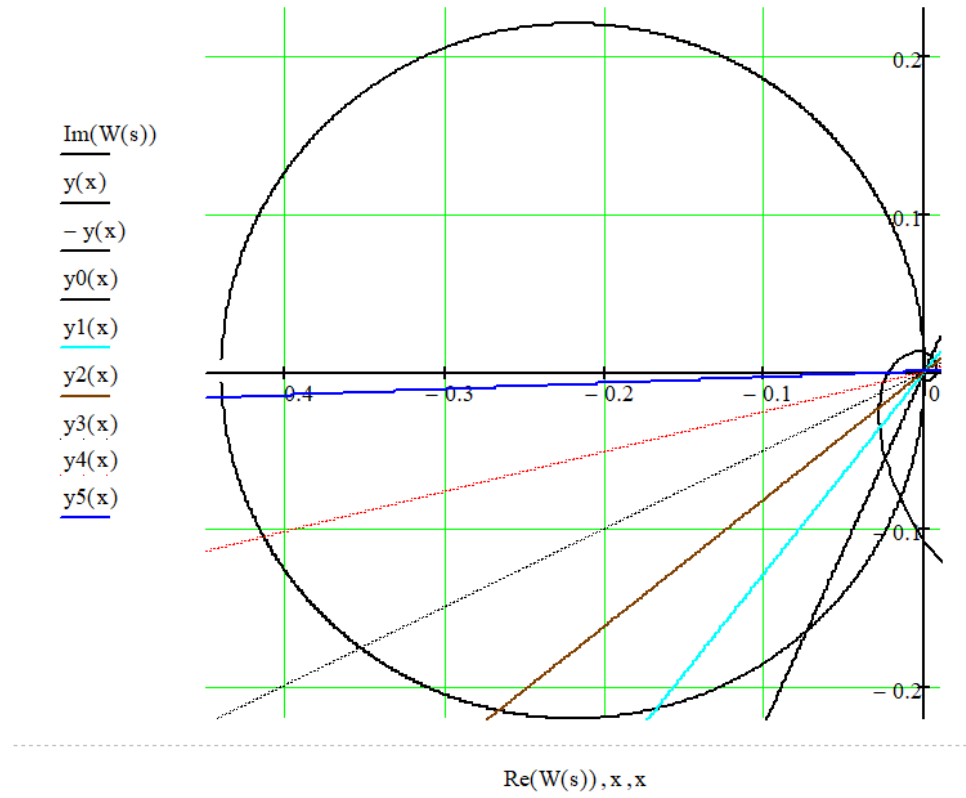


Рис.2.11. Побудова допоміжних дотичних до АФЧХ годографу

$$E_x := \begin{pmatrix} -0.00702 \\ -0.0751 \\ -0.167 \\ -0.265 \\ -0.352 \\ -0.413 \end{pmatrix} \quad E_y := \begin{pmatrix} -0.0551 \\ -0.165 \\ -0.212 \\ -0.215 \\ -0.175 \\ -0.105 \end{pmatrix}$$

Рис.2.12. Отримання параметрів E_x та E_y

$$OA_i := \sqrt{\operatorname{Re}(W(\omega_i))^2 + \operatorname{Im}(W(\omega_i))^2}$$

$$OE_i := \sqrt{(Ex_i)^2 + (Ey_i)^2}$$

$$ED_i := \sqrt{(2 \cdot R)^2 - (OE_i)^2}$$

$$OA = \begin{pmatrix} 0.0599358 \\ 0.0452642 \\ 0.0363289 \\ 0.0303276 \\ 0.0260229 \\ 0.0227859 \end{pmatrix} \quad OE = \begin{pmatrix} 0.0555454 \\ 0.1812871 \\ 0.2698759 \\ 0.3412477 \\ 0.3931018 \\ 0.4261385 \end{pmatrix} \quad ED = \begin{pmatrix} 0.4364799 \\ 0.4009177 \\ 0.3475155 \\ 0.2777589 \\ 0.1976639 \\ 0.1095719 \end{pmatrix}$$

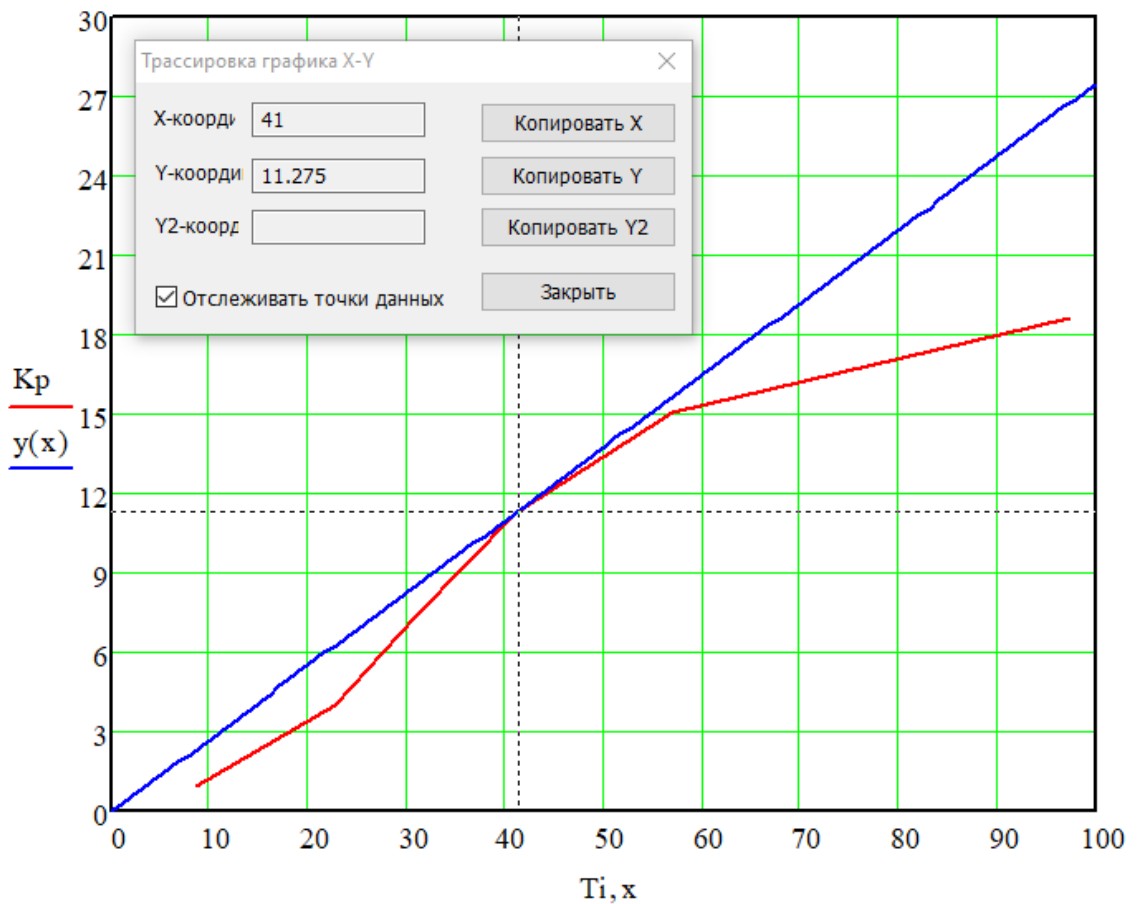
Рис.2.13. Визначення напрямлених відрізків OA, OE, ED

$$Kp_i := \frac{OE_i}{OA_i} \quad Ti_i := \frac{OE_i}{\omega_i \cdot ED_i}$$

$$Kp = \begin{pmatrix} 0.9267486 \\ 4.0050834 \\ 7.428691 \\ 11.2520415 \\ 15.1059852 \\ 18.7018627 \end{pmatrix} \quad Ti = \begin{pmatrix} 8.4838408 \\ 22.6090167 \\ 31.0634689 \\ 40.9525101 \\ 56.8211068 \\ 97.2280525 \end{pmatrix} \quad \frac{Kp}{Ti} = \begin{pmatrix} 0.1092369 \\ 0.1771454 \\ 0.2391456 \\ 0.2747583 \\ 0.2658517 \\ 0.1923505 \end{pmatrix}$$

Рис.2.14. Отримання розрахованих параметрів налаштування регулятора

$x := 0..100$ $k := 0.275$ $y(x) := k \cdot x$



$Kp := 11.25$

$Ti := 41.0$

Рис.2.15 Отримано параметри Kp та Ti

$$W_{(s)} = Kp * \left(1 + \frac{1}{Ti * s}\right), \quad (2.18)$$

$$W_{(s)} = P + I * \frac{1}{s}, \quad (2.19)$$

Щоб отримати передатну характеристику вигляду (2.19), треба відкрити дужки в формулі (2.18)

$$W_{(s)} = Kp + \frac{Kp}{Ti * s}, \quad (2.20)$$

Отримуємо

$$P = K_p = 11,25$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = \frac{11,25}{41} = 0,274, \quad (2.21)$$

Представлення схеми з ПІ-регулятором середовищі моделювання Simulink (Рис.2.16.):

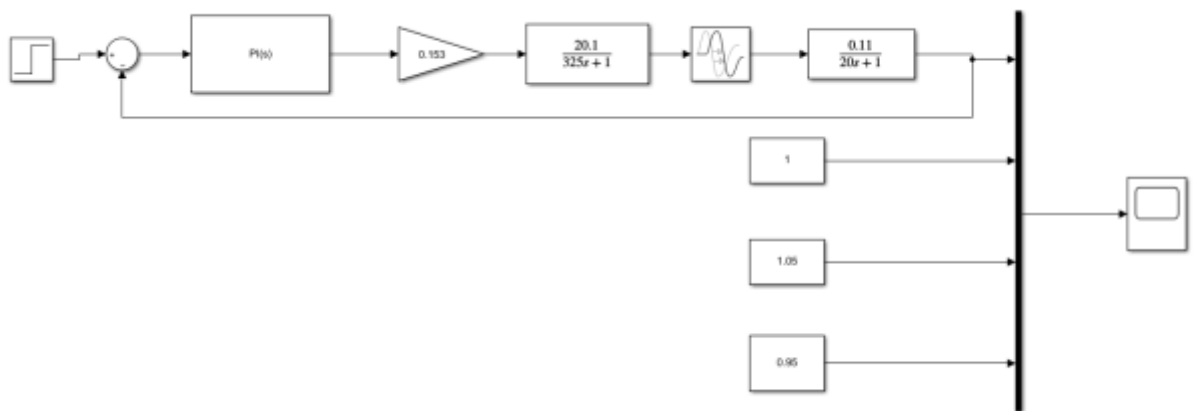


Рис.2.16. ПІ-регулятор в моделі Simulink

4.3. Дослідження спроектованої системи управління на показники якості

За параметрами, отриманими в ході розрахунку, якість перехідного процесу не задовольняє технічне завдання на проектування – отримано значні перегулювання і довгий час регулювання, близько 650 секунд (рис.2.17.):

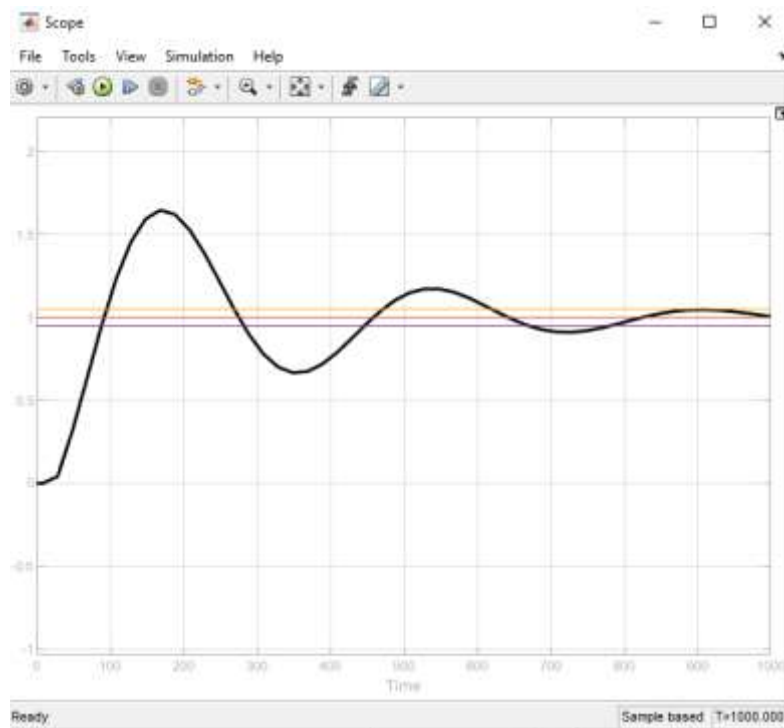


Рис.2.17. Перехідний процес за отриманими параметрами налаштування

Використаємо підбір параметрів з пакету Matlab, на (Рис. 2.18.) графіку видно що перехідний процес задовільняє умови нормальної роботи.

Показники якості визначимо з перехідного процесу (Рис. 2.18.):

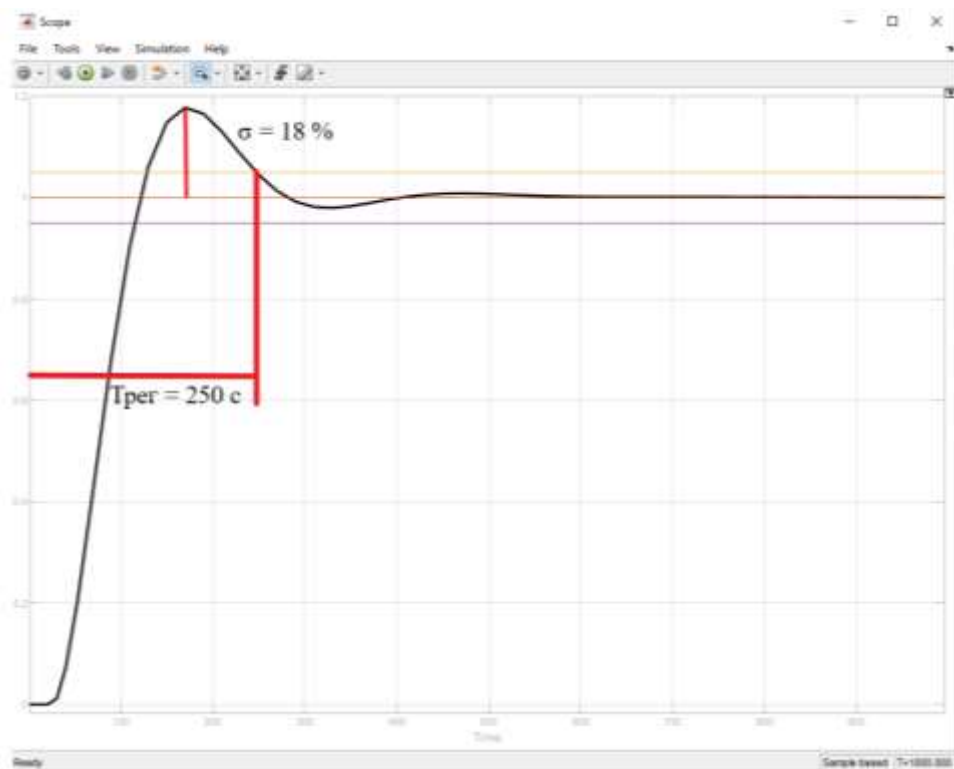


Рис. 2.18. Визначення коригованих показників якості системи

З перехідного процесу отриманого в середовищі Matlab Simulink визначаємо наступні показники перехідного процесу:

Час регулювання $T_{рег} = 250$ с;

Для визначення в відсотковому плані перерегулювання, потрібно провести розрахунок за наступною формулою:

$$h_{max} = 1.18$$

$$h_{уст} = 1$$

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \times 100\% = \frac{1.18 - 1}{1} \times 100\% = 18\%, \quad (4.22)$$

4.4. Вибір регулятора

Для реалізації процесу регулювання обрано регулятор фірми Акутек, - пристрої які досить давно на ринку і показали свою ефективність та безвідмовність в роботі, впродовж всього періоду експлуатації.



Рис. 2.19. 2TRM0

Враховуючи вищенаведені розрахунки, для реалізації обраного ПІ-алгоритму керування, якнайкраще підійде 2TRM0. Вимірювач двоканальний.

Таблиця 4.2 Технічні характеристики пристрою Акутек 2ТРМ0

Кількість універсальних входів	2
Типи вхідних сигналів	
Час опитування одного входу:	
для термоперетворювачів опору	не більше 0,8 с
– для інших датчиків	не більше 0,4 с
Межа основної зведеної похибки вимірювання:	
– для термоелектричних перетворювачів	$\pm 0,5$ %
– для інших датчиків	$\pm 0,25$ %

Головними перевагами по причині яких вибір зроблено на користь 2ТРМ0 будуть:

Покращена завадостійкість: 2ТРМ0 повністю відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 61326-1 за електромагнітною сумісністю для обладнання класу А (для промислових зон) з критерієм якості функціонування А;

Підвищена надійність: напрацювання на відмову може складати до 90 000 годин;

Збільшена точність замірів, - похибка вимірювань не перевищує 0,2 % (а клас точності до 0,25/0,5);

Інтервал між повірками – три роки;

Гарантійний термін обслуговування 2ТРМ0 складає п'ять років;

Покращені показники кліматичного виконання: допустимий діапазон робочих температур від -20 до $+50$ °С;

Універсальні входи: пристрій підтримує всі найбільш поширені типи перетворювачів;

Розширений діапазон напруги живлення: 90...245 В частотою 47...63 Гц;

Вбудоване джерело живлення 24 В у всіх модифікаціях нового 2ТРМ0 для живлення активних датчиків або інших низьковольтних кіл АСК

4.5. Опис принципу роботи електричної схеми ЕЗ

На схемі зображено трифазну мережу з напругою живлення 380 В та частотою змінного синусоїдального струму 50 Гц. Від цієї мережі через блок живлення, реалізований у вигляді випрямляючого пристрою та згладжуючих фільтрів конденсаторів подається постійний струм з напругою 24 В.

На вході випрямляча встановлено плавку вставку (fuse) FU1, який спрацьовує у разі неправильного режиму у мережі або КЗ і легко замінюється аналогічним. Після випрямляча на контакт «+» встановлено ще один запобіжник FU2, що захищає 2ТРМ0 від перенапруг у разі аварійної ситуації.

Передбачено можливість швидкого перемикання між ручним і автоматичним режимами роботи. Застосовано набір магнітних пускачів типів КМ1, КМ2, КМ3 та КМ4, а також контакти їх теплових реле КК1 та КК2. Двигуни М1 та М2 виконують роль виконавчих механізмів для повороту клапанів та подачі води й стисненого повітря у систему туманоутворення.

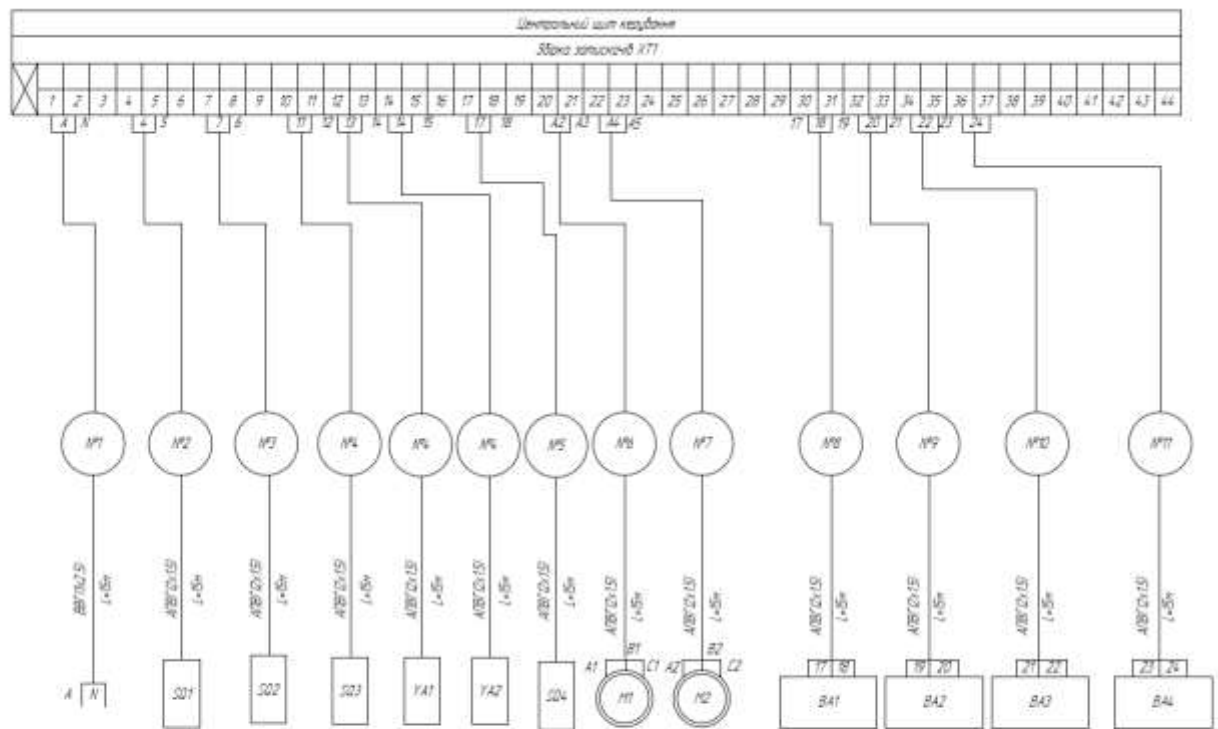
Програмований логічний контролер - 2ТРМ0 керує системою в автоматичному режимі, отримуючи сигнали від датчиків:

ВА1, ВА2 – ПВП вимірювання тиску.

ВА3 – ПВП напрямку повітря,

ВА4 – ПВП відносної вологості.

У деяких випадках зазначені сприймаючі елементи можуть бути інтегровані в один корпус у вигляді бортової метеостанції та під'єднані безпосередньо до цифрових входів ПЛК.



Назва обладнання	Діал. з'єднання	Кількість блоків	Кількість блоків	Кількість блоків	Кількість блоків	Кількість блоків	Кількість блоків	Діагн.	Діагн.	Датчик швидкості руху підйому	Датчик напруги підйому	Датчик довжини підйому	Датчик температури
Голо.	ШВ-32	HE-8108	HE-8108	24V 24-0-24 AC	24V 24-0-24 AC	HE-8108	HE-8108	AP 55 A2	AP 55 A2	841-6-LED	TF4 3032202	MS-N3005	TCM - 50 H

Рис. 2.20. Схема підключень до центрального щита керування
Решту схем буде представлено в додатках до даної магістерської роботи.

РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА SCADA-СИСТЕМИ ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ З ОПЕРАТОРСЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ

Система моніторингу для теплиць з онлайн-спостереженням за змінними параметрами мікроклімату є потужним інструментом для агропромислового сектору виробництва. Використання штучного інтелекту для прогнозування змін освітлення, температури та вологості на забезпечує точне керування умовами для оптимального росту рослин. Інтеграція з веб- та мобільними застосунками дозволяє зручно слідкувати за цими параметри в реальному часі, а також аналізувати довідку та історичні дані існуючих системи, що може знадобитись для вивчення довгострокових змін у виробничому середовищі. Це може підвищити економічну ефективність виробництва, зменшити витрати різних ресурсів та забезпечити стабільно високу якість продукції.

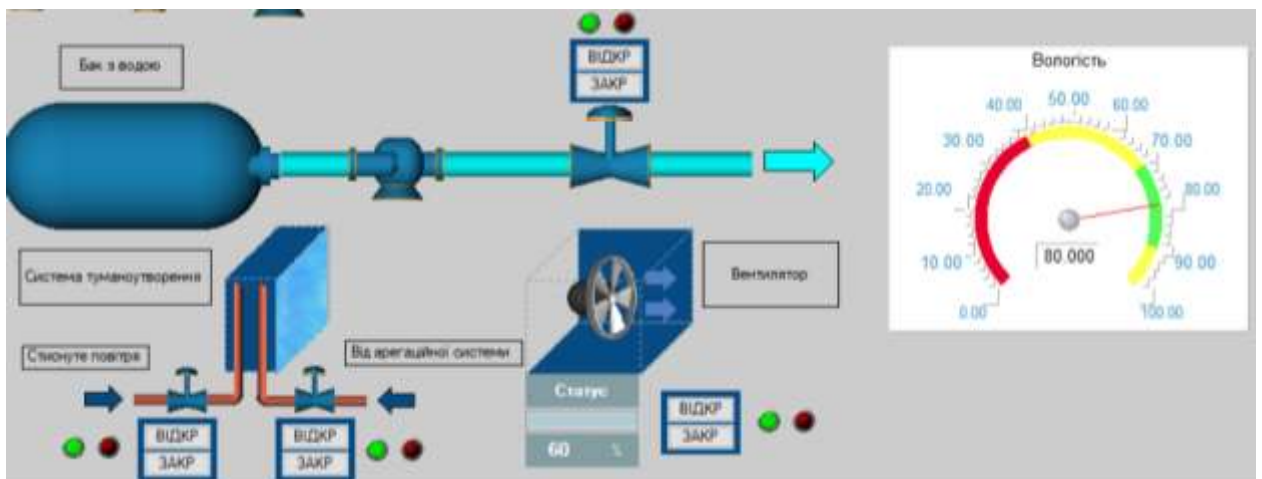


Рис.5.1 Візуалізація операторського місця по каналу вологості людино-машинної SCADA- системи

РОЗДІЛ 6.

АНАЛІЗ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Загальний стан справ охорони праці та безпеки на сучасному виробництві повного циклу виробництва овочів

Обов'язковим є відповідне систематичне та комплексне проведення спеціалізованих заходів, спрямованих на зниження випадків травматизму, усунення ймовірностей виникнення нещасних виробничих випадків. Наприклад, навчання та підвищення рівня кваліфікації з безпеки та охорони праці.

Якщо оцінка ризику показує, що в роботі машини або протіканні процесу міститься ризик травмування, небезпеку необхідно усунути або стримати. Як це буде зроблено, залежатиме від характеру машини та небезпеки. В основному, це може означати запобігання будь-якого доступу до відповідних частин, вузлів, агрегатів, поки вони знаходяться в робочому стані. Найкращим захисним заходом є пристрій або система, яка забезпечує максимальний захист мінімізуючи вплив на нормальну роботу машини. Важливо врахувати детально всі аспекти використання машини, оскільки досвід показує, що систему безпеки, якою важко користуватися, швидше за все видалити або обійти.

Перед початком аналізу можливих ризиків, потрібно виділити основні вимоги безпеки при роботі в умовах закритого ґрунту: медичний огляд перед початком будь-яких робіт, регулярний поверхнева перевірка та огляд співробітників, наявність душевої кімнати, а також кімнати гігієни персоналу. Відсутність своєчасних та адекватних заходів профілактичного характеру, призводить зміни в станах працездатності та погіршенні здоров'я співробітників, що в свою чергу, може переростати як в клінічно виражену патологію, так і в потенційні поточні зміни в усіх системах функціонування організму.

Характерними особливостями конкретних умов роботи в теплицях будуть замкнутий характер виробничого приміщення, висока інтенсивність застосування пестицидів, та комбіноване застосування з іншими сполуками в умовах високої температури і вологості, та переважно використання механічної частини ро-

боти, можуть визначати високу ймовірність тимчасової непрацездатності серед обслуговуючого персоналу теплиць.

У формуванні структури захворюваностей працівників, з тимчасовими порушеннями велика кількість випадків пов'язано із хворобами дихальної та нервової систем, а також органів чуття, шкіри та підшкірної клітковини, сечостатевої системи й системи кровообігу організму. Серед найпоширеніших причин таких тимчасових розладів – бронхіальна астма та астматичний бронхіт.

Відповідні заходи і івенти по охороні праці сконцентровані переважно на:

- покращенні та доопрацюванні конструкцій впровадженого обладнання для попередження травмування співробітників організації;
- обладнанні нових і модернізації старих пристроїв захисту для станків, верстатів, машин, нагрівальних установок;
- поліпшенні існуючих умов праці — створенні правильного освітлення, вентиляції, облаштуванні пиловловлюючих фільтрів, своєчасному прибиранні виробничих приміщень та відходів, підтримці оптимальної температури у приміщеннях де безпосередньо відбувається виробництво;
- зниженні ймовірних ризиків виникнення аварій, нещасних випадків, під час експлуатації обладнання, мінімізації ризику розбризкування реактивів, кислот, реагентів, тощо;
- організації первинного інструктажу нових співробітників з правил поведінки на території виробництва, їх навчання та перевірки рівня знань;
- забезпеченні виробництва достатньою кількістю інструкцій з техніки безпеки та супровідних інформаційних плакатів.

6.2. Вибір пускозахисної апаратури. Методика вибору пристроїв захисту

Вибір типів і номіналів пристроїв захисту багато в чому визначає надійність роботи, безпечної експлуатації та масогабаритних показників електричної мережі .

При захисті схеми живлення споживача з тривалим режимом роботи без струмів перевантаження, номінальний струм пристрою захисту вибирається відповідно до такої умови:

$$I_{н.с} = \min_{k=1,S} I_k, I_k \in G, \quad (6.1)$$

де,

$I_{н.с}$ – номінальний струм пристрою захисту,

$G = \{I_1, \dots, I_k, \dots, I_s\}$ – сукупність номінальних значень захисного пристрою даних типів, які будуть задовольняти такий стан $\forall I_k \geq I_{р.макс}$

$I_{р.макс}$ - максимальний можливий струм цього кола електропостачання з урахуванням кліматичних умов експлуатації та якості електропостачання.

Для захисту кіл електроживлення споживачів з великими пусковими токами, такими наприклад як електродвигуни відкриття клапанів, та крокові двигуни відкриття певного кута фрамуг, і з тривалими режимами короткочасного спрацювання, пристрої інерційного захисту повинні влаштовувати такі умови:

$$I_{н.с} = \min_{k=1,S} I_k, I_k \in G, \quad (6.2)$$

$$t_a > t_{старт.макс} \quad (6.3)$$

де,

$t_{старт.макс}$ - час, протягом котрого середньоквадратичні пускові струми споживачів досягають максимуму $I_{сер.старт.макс}$

t_a – найкоротший час спрацювання при струмі $I_{\text{сер.старт.макс}}$

Час спрацювання захисних пристроїв справді суттєво залежить від параметру температури навколишнього середовища та технологічного розльоту його інших параметрів.

Для забезпечення надійного захисту найкоротший час реакції системи в розрахунках системи на стадії проектування визначають по нижній межі ампер-секундної характеристики. Ця межа складає відповідність T_{max} - максимальній температурі, при якій можлива нормальна експлуатація пристрою, з врахуванням технологічного розльоту його параметрів.

Таким чином, при підвищенні температури довколишнього середовища може спостерігатись суттєве зменшення часу спрацювання, що забезпечує оптимальне та відповідне, швидке відключення у випадках аварійних ситуацій.

Тобто, важливо розраховувати вищенаведені змінні параметри при проектуванні захисних пристроїв, щоб гарантувати їх надійну роботу, в умовах можливих непередбачуваних коливань температури та виробничих допусків параметрів системи.

Значення $t_{\text{старт.макс}}$ та $I_{\text{сер.старт.макс}}$ можна визначити за лінією зміни середньоквадратичного значення пускового струму споживача у часі. Середньоквадратичний пусковий струм для будь-якого заданого моменту в часі можна визначити за графіком осцилографу пускового струму самого споживача.

Таким чином, враховуючи вищенаведені розрахунки, значення пускового, середньоквадратичного струму впливає з такої формули:

$$I_{\text{сер.старт.макс}} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{k_t}^2}{k_t}} \quad (6.4)$$

де,

I_1, I_2, \dots, I_{k_t} – середнє арифметичне занчення струмів, в інтервалах на кривій зміни пускових струмів електричних двигунів.

k_t – кількість інтервалів на які поділяють інтервал часу t .

6.3. Розрахунок пристрою заземлювання для забезпечення нормальних умов експлуатації

Для пристроїв заземлюючого контакту опір можна визначити за допомогою наступного розрахунку

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d}\right) \quad (6.5)$$

в цій формулі, перераховуються такі змінні:

R – опір пристрою заземлювання, Ом;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом/м;

L – довжина тіла стрижневого заземлювача, м;

d – діаметр стрижневого заземлювача, м.

На етапі проектування, встановлено що параметрами що будуть забезпечувати надійний захист ситеми буде, залізний стрижень,

діаметром 0,045 м в довжині 4,4 м , з питомим опором ґрунту 120 Ом/м.

Встановимо отримані значення в формулу

$$R = \frac{120}{2\pi * 4,4} \ln\left(\frac{2 * 4,4}{0,045}\right), \quad (6.6)$$

проведемо відповідні розрахунки,

$$R = 25,36 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

6.4. Вибір пристрою грозозахисту

Для отримання параметрів, які задовільняють цей критерій аналізу техніки безпеки, потрібно провести декілька визначень зон грозової активності для розуміння необхідності впровадження рівня захисту.

Грозову активність можна класифікувати за середньою кількістю грозових годин в році – Ng

Для обрахунку кількості прямих ударів блискавки (N_d) на об'єкт керування, необхідно застосувати формулу:

$$N_d = C_e * A * Ng \quad (6.8)$$

де,

N_d – кількість концентрованих ударів блискавки за рік

C_e – коефіцієнт ефективності об'єкту

A – площа об'єкту яка повинна бути захищена, m^2

Ng – середнє арифметичне число грозових годин в році для конкретної досліджуваної області.

Отже, вибір параметрів блискавкозахисту повинен мати підґрунтя у вигляді радіусу зони його захисту.

Радіус зони захисту обраховується за формулою:

$$r = h * \sqrt{2 - \frac{h}{h_0}} \quad (6.9)$$

де,

r – радіус зони захисту пристрою, м,

h – висота блискавковідводу на об'єктом захисту, м,

h_0 – висота в якій буде досягатись максимальна зона захисту.

Таким чином встановлюємо початкові умови:

Ng – кількість грозових днів в році – 24 д.

C_e – коефіцієнт ефективності – 0,73

A – площа робочого приміщення теплиці – 460 m^2

h - Висота – 12м, h_0 – 17 м

ρ – 100 Ом/м (питомий опір ґрунту)

Визначимо кількість ударів блискавки в рік:

$$N_d = 0,73 * 460 * 24, \quad (6.10)$$

$$N_d = 8059 \text{ уд/рік} \quad (6.11)$$

Розрахуємо r - радіус зонального захисту:

$$r = 12 * \sqrt{2 - \frac{12}{17}}, \quad (6.12)$$

$$r = 12 * 0,708, \quad (6.13)$$

$$r = 8,49 \text{ м} \quad (6.14)$$

Проведені вище розрахунки, дають змогу отримати значення опору заземлення – R_z .

Допустимо, що $L=4,5$ м та $d=0,043$ м, тоді:

$$R_z = \frac{100}{2\pi * 4,5} \ln\left(\frac{2 * 4,5}{0,043}\right), \quad (6.15)$$

$$R_z = \frac{100}{2 * 3,14 * 4,5} * 5,344 \approx 1,89 \text{ Ом} \quad (6.16)$$

Беручи до уваги обчислення, представлені у вищенаведеній розрахунковій частині, для захисту обладнання системи від короткочасних стрибків та імпульсних перенапруг, а також для захисту регулятора обрано пристрій від виробника Noark.(Рис.6.2)



Рис.6.2 Пристрій захисту NEx9UE2 20 1P 275

Лінійка пристроїв Ex9UE2 — це група пристроїв захисту від перенапруг класу II. Вони призначаються для захисту від перехідної перенапруги, викликані швидкими операціями перемикачів, також виступають в ролі блискавкозахисту

Модульна конструкція зі вставними вставками дозволяє просту та швидку заміну функціональних модулів у разі вичерпання терміну роботи через спрацювання або часту появу піків перенапруги.

Таблиця 6.1. Технічні характеристики пристрою грозозахисту Noark NEx9UE2 20 1P 275

Конфігурація системи	TN
Тип монтажу	DIN-рейка 35 mm
Із додатковим сигнальним контактором	ТАК
Сигналізація на пристрої	Оптичний
Тип полюсів	1
Номінальна напруга AC	275
Макс. поперечний переріз провідника гнучкий (тонкосмуговий)	35
Номінальний розрядний струм (8/20)	20
Макс. поперечний переріз про-	35

відника суцільний (твердий, багато-жильний)	
Максимальна напруга АС	275
Коротке замикання	НІ
Розмір конструкції	1 DIN
Кількість модулів	1
Рівень захисту напруги L-N	1.4
Рівень захисту напруги N-PE	-
Ступінь захисту (IP)	IP20
Вбудований резервний запобіжник	ТАК
Категорія тип 2	НІ

РОЗДІЛ 7.

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЛІЗАЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ СПРОЄКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

7.1. Економічний обрахунок вартості впровадження запропонованої системи

Спосіб реалізації розрахунків в економічній частині випускної роботи- довести економічну доцільність імплементації та використання автоматизованої системи управління. Для цього потрібно провести порівняння техніко-економічних рішень на стадії проектування, яке складається з декількох наступних етапів:

- Розрахунок капітальних витрат;
- Розрахунок річних витрат на експлуатацію системи;

- Розрахунок загальних показників економічного впровадження, на базі котрих робляться висновки про доцільність промислового застосування обладнання на науково-дослідному об'єкті;

Щоб була можливість розрахувати економічну доцільність на впровадження автоматизованої системи управління вологісними параметрами на основі регулятора АКУТЕК 2ТРМ0 для вирощування огірків та томатів в теплицях, допустимо, що системи витрат і переходу контролюють температуру і вологість повітря і забезпечують оптимальні умови для зростання овочевих культур, таких як наприклад томати та огірки.

Початковими фінансовими вкладеннями на реалізацію запропонованої системи є вартість обладнання, станом на початок вересня 2024 року, необхідні пристрої в роздріб можна придбати по наступних цінах:

- Контролер АКУТЕК 2ТРМ0 – 12,674 грн
- Первинні вимірювальні перетворювачі вологості та температури – 5,785 грн
- Система клапанів та насосів для запуску зрошування – 14,239 грн
- Система управління шахтною вентиляцією – 7,178 грн
- Додаткові розхідні матеріали та монтаж – 2,954 грн

Таким чином, можна обрахувати що початкові витрати – $T_{\text{поч}}$, на встановлення будуть складати приблизно 42,830 грн

Після встановлення, потрібно зрозуміти реальний стан справ по утриманню системи – розрахувати річні експлуатаційні витрати, цей розрахунок вигідно буде висвітлити наступним чином:

Експериментальним чином було отримано дані що в номінальному режимі роботи, в умовах невизначеності, система споживає 756 кВт*год на рік, а фіксована вартість електроенергії – 4,32 грн/кВт*год.

$$V_c = 756 * 4,32, \quad (7.1)$$

$$V_c = 3265 \text{ грн} \quad (7.2)$$

де

V_c – змінні витрати на електроенергію

Також потрібно враховувати затрати на обслуговування існуючої системи та по необхідності заміну датників, $V_{то}$ - що може додатково скласти орієнтовно 5450 грн/рік.

Отже, загальні експлуатаційні витрати - T_c , можна обрахувати за формулою:

$$T_c = V_c + V_{то}, \quad (7.3)$$

Підставивши відповідні значення отримаємо:

$$T_c = 3265 + 5450, \quad (7.4)$$

$$T_c = 8715 \text{ грн} \quad (7.5)$$

Обрахунок фінансового спектру, імплементації системи в життя, проводиться для отримання певної економічної вигоди, одним з таких чинників може бути збільшення кількості виготовленої продукції. Наприклад завдяки підтримки оптимальних умов, урожайність помідорів може збільшитися на 10%.

Якщо припустити, що теплиця виробляє 7,340 кг помідорів на рік, а середня ціна реалізації готової продукції — 65 грн/кг.

Можна порахувати додатковий врожай – P_d

$$P_d = 7340 * 0,1, \quad (7.6)$$

$$P_d = 734 \quad (7.7)$$

Тоді, додатковий прибуток - F_c від збільшення розміру врожаю складатиме:

$$F_c = 734 * 65, \quad (7.8)$$

$$F_c = 47710 \text{ грн/рік} \quad (7.9)$$

Завдяки тому що на етапі проектування було обрано оптимальний алгоритм, що забезпечує суттєвий прогрес а автоматизації, на виході можна зекономити порядку 15% від витрат на ці ресурси.

Якщо врахувати що поточні витрати на електроенергію для зрошення та вентиляції складають 13,400 грн на рік, економія G становитиме:

$$G = 13400 * 0,15, \quad (7.10)$$

$$G = 2010 \text{ грн/рік} \quad (7.11)$$

А загальна економія за рік - $G_{\text{заг}}$ буде становити:

$$G_{\text{заг}} = F_c + G, \quad (7.12)$$

$$G_{\text{заг}} = 47710 + 2010, \quad (7.13)$$

$$G_{\text{заг}} = 49720 \text{ грн} \quad (7.14)$$

А річний ефект економічної складової буде становити:

Річний економічний ефект = Загальній річній економії – експлуатаційні витрати

$$P_{e.e} = G_{\text{заг}} - T_c, \quad (7.16)$$

$$P_{e.e} = 49720 - 8715, \quad (7.17)$$

$$P_{e.e} = 41005 \text{ грн} \quad (7.18)$$

Отже, розрахувавши всі попередні параметри економічної складової, можна прорахувати приблизний термін окупності – T_o , котрий визначається за наступною формулою:

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Загальні початкові витрати}}{\text{Річний економічний ефект}}, \quad (7.19)$$

$$T_o = \frac{T_{\text{поч}}}{P_{e.e}}, \quad (7.20)$$

$$T_o = \frac{42830}{41005}, \quad (7.21)$$

$$T_o \approx 1,044 \text{ роки} \quad (7.22)$$

Застосування та побудова автоматизованої системи контролю вологості на базі АКУТЕК 2ТРМ0, є економічно доцільним для овочевих теплиць, оскільки інвестиції окупляться приблизно за 1 рік.

Економічною ефективністю конкретного, даного інноваційного проєкту визначається сума прибутку, в чистому вигляді, одержуваного в процесі впровадження інновацій протягом усього життєвого циклу проєкту. При розрахунках економічних ефективностей обов'язково потрібно враховувати інфляцію грошей з часом, оскільки для отримання чистого прибутку від інвестицій потрібна достатня кількість часу. І сповна економічний ефект можна відчути протягом певної роботи системи. Таким чином, використовуючи ставку дисконтування, необхідно враховувати розрахунок дисконтування прибутку і витрат за кожен розрахунковий період. Він заснований на методі складних відсотків. Сума, яку ми

отримаємо після впровадження та реалізації інноваційного проекту, визначається з врахуванням дисконтованих вигод і витрат.

ВИСНОВОК

В ході розробок проведених в даній магістерській роботі експериментальним і наочним чином було спроектовано, побудовано, та впроваджено систему автоматичного регулювання вологості.

Система керування вологістю повітря у виробничому середовищі теплиці на базі комплексу технічних засобів Акутек є ефективним рішенням для автоматизації мікроклімату в агропромисловому секторі. Використання впровадженої Scada- системи та елементів IoT, комп'ютерно інтегрованих технологій дозволяє здійснювати точний моніторинг і керування рівнем вологості, що є переважаючим фактором для оптимізації розвитку, здоров'я та продуктивності всіх видів рослин. Завдяки поєднанню пристроїв первинного перетворення, модулів керування та вбудованого програмного забезпечення, спроектована система оперативно реагує на найменші зміни внутрішніх та зовнішніх умов та збурень, та дає можливість оператору оптимізувати кліматичні умови у теплиці з мінімальними затратами зусиль з боку обслуговуючого персоналу.

Встановлений регулятор 2TRM0 фірми Акутек, в автоматизованому режимі збирає датасет даних про теперішній поточний рівень вологості, в режимі реального часу, може порівнювати та аналізувати їх, і коригує роботу зрошувальних установок системи туманоутворення, та інших пристроїв, для досягнення заданих параметрів обраного закону регулювання. Що в подальшому, може бути відбито на економічних затратах на воду та електроживлення, а також якісно та кількісно збільшує урожай, що робить систему хорошою інвестицією для сучасних підприємств та організацій агропромислового сектору. Не менш важливою перевагою є модульність і гнучкість всього комплексу, вони дають можливість провести адаптацію системи під конкретні специфічні вимоги на кожній окремій теплиці..

Рішення, запропоноване в цій роботі, не тільки економічно вигідне, але й екологічно відповідальне, так як сприяє зменшенню затрат ресурсів та мінімізації екологічного сліду на тепличному господарстві.

Дослідним чином встановлено, що імплементація та застосування комплексу технічних засобів Акутек у створеній комп'ютерно інтегрованій системі керування вологістю повітря суттєво збільшує ефективну роботу агропромислового виробництва, автоматизовуючи процес відстежування контролю кліматичних умов, та знижуючи вплив людських факторів і забезпечуючи стабільні умови для вирощування високоякісної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/11/2083>
2. <https://aqteck.com.ua/ua/vymiryuvachi-reguljatory/2trm0-vymirjuvach-dvokanalnij>
3. <https://ratio.ua/ohorona-praczi-shho-povynno-butu-na-pidpryyemstvi-chek-lyst/>
4. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012201/pdf>
5. <https://www.noark-electric.com.ua/ua/produktsiya/103347>
6. <https://vents-shop.com.ua/elektroprivd-belimo-cm-230-uk/>
7. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О.Дудник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – с.
8. Лихацький В. І. Овочівництво / В. І. Лихацький, Ю. Е. Бургарт, В. Д. Васянович. За ред. В.І. Лихацького. – К.: Урожай, 1996. – 359 с.
9. Мартиненко І. І., Лисенко В. П., Тищенко Л. П., Лукач В. С. Проектування систем автоматизації с .г виробництва / – М.: Агропромиздат. – 1995 г. – 367 с.
10. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК / – Київ 2008р. – 330 с.
11. Мартыненко И. И. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов / И. И. Мартыненко, Н. Л. Гирнык, В. М. Полищук. – М.: Колос, 1984. – 152 с.
12. Мартыненко И.И. и др. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов / И.И. Мартыненко– М.: Колос. 1984г.
13. Мартыненко И.И. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики / И.И. Мартыненко – М.: Колос, 1981 г. – 196 с.

14. Марченко О.С. Довідник по монтажу і налагодженню електрообладнання в с.г/ О.С.Марченко. – К.: Урожай, 1994 р – 69 с.
15. Цизь О.М. Технології закритого ґрунту. Методичні вказівки до виконання практичних завдань і самостійної роботи студентів. К.: НУБіП, 2018. 54 с.
16. Чернишенко В.І., Пашковський А.І., Кирій П.І. Сучасні Технології овочівництва закритого ґрунту: Навчальний посібник. – Житомир: Рута, 2018. 400 с.
17. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. Сучасні Технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 1. Закритий ґрунт. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2008. 368 с.
18. Приліпка О.В., Цизь О.М. Агротехнологічні та організаційні засади функціонування підприємств закритого ґрунту. К.: Центр учбової літератури. 2016. 384 с.
19. Іваненко П.П., Приліпка О.В. Закритий ґрунт. К.: Урожай, 2011. 360 с.
20. Лихацький В.І., Бургарт Ю.Є., Васянович В.Д. Овочівництво. К.: Урожай, 1996. ч. 1. 300 с. ч. II. 368 с.
21. Садовська Н.П., Попович Г.Б., Симочко В.В., Шейдик К.А. Сучасні технології вирощування овочевих культур у відкритому та закритому ґрунті: методичні рекомендації до лабораторних робіт та самостійної роботи. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2023. – 124 с.