

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

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **"РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ У
ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОВЕН"**

Спеціальність: 174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка"

Гарант освітньої програми

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

_____ (підпис)

Дудник А.О.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.пед.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Лукін В.Є.
(П.І.Б.)

Виконав

_____ (підпис)

Ішлер О.С.
(П.І.Б.)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Ішлеру Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: "Розроблення системи автоматичного керування концентрацією живильного розчину у промисловій теплоізоляції із використанням комплексу технічних засобів ОВЕН",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2518"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "31" травня 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Технологія і промислове обладнання для виготовлення живильного розчину.

- 4.2. Розробка та дослідження математичної моделі процесу керування концентрацією живильного розчину в теплиці.
 - 4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
 - 4.4. Розробка цифрової системи керування.
 - 4.5. Схеми системи автоматизації.
 - 4.6. Техніко-економічне обґрунтування.
5. Перелік графічних документів:
- 5.1. Функціональна схема автоматизації системи подачі живильного розчину в теплиці.
 - 5.2. Система автоматизації процесу виготовлення живильного розчину. Принципова електрична схема.
 - 5.3. Система автоматизації процесу виготовлення живильного розчину. Зовнішній вид щита керування.
 - 5.4. Система автоматизації процесу виготовлення живильного розчину. Схема з'єднань.
 - 5.5. Система автоматизації процесу виготовлення живильного розчину. Схема підключень.

Дата видачі завдання "25" жовтня 2025 року

Керівник

**бакалаврської
кваліфікаційної
роботи**

(підпис)

Лукін В.Є.

(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Ішлер О.С.

(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Вступ	5
.....	
Розділ 1. Рівень автоматизації технологічного процесу керування концентрацією живильного розчину в теплиці	8
.....	
1.1. Технологічна характеристика процесу поливу рослин в гідропонних теплицях	8
.....	
1.1.1. Живильні розчини для томату	10
.....	
1.1.2. Субстрати для вирощування	13
.....	
1.1.3. Баки запасу води	18
.....	
1.1.4. Лотки для вирощування помідорів	19
.....	
1.1.5. Система приготування живильного розчину	20
.....	
1.2. Вплив освітленості на зростання рослини	25
.....	
Розділ 2. Дослідження процесу керування концентрацією живильного розчину в теплиці	28
.....	
2.1. Дослідження масаобміних процесів при керуванні концентрацією живильного розчину в теплиці	28
.....	
2.2. Розробка (уточнення) та дослідження математичної моделі процесу керування концентрацією живильного розчину в теплиці	33
2.3. Аналіз статичних та динамічних характеристик. Визначення передатної функції об'єкта керування	41
.....	
2.4. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування концентрацією живильного розчину	44
.....	
Розділ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	47
.....	
3.1. Вибір алгоритму керування	47
.....	
3.2. Вибір промислового регулятора	49
.....	

3.3. Обґрунтування та вибір сприймаючого елементу, регулюючого органу і виконавчого механізму. Визначення їх передатних функцій	52
Розділ 4. Дослідження САК концентрацією живильного розчину на стійкість та визначення показників якості керування	67
.....	
4.1. Визначення часу квантування	67
.....	
4.2. Визначення показників якості САК	70
.....	
Розділ 5. Схеми системи автоматизації	73
.....	
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування	73
.....	
5.2. Обґрунтування та вибір пуско-захисної апаратури	75
.....	
5.3. Розробка загального виду щита керування	83
.....	
5.4. Обґрунтування та вибір проводів та кабелів	84
.....	
5.5. Розробка схеми електричної з'єднань	86
.....	
5.6. Розробка схеми електричної підключень	89
.....	
Розділ 6. Техніка безпеки та охорона праці	
.....	90
6.1. Аналіз стану безпеки праці на господарстві	90
.....	
6.2. Безпечність об'єкта проектування	91
.....	
6.3. Розрахунок заземлювального пристрою	92
.....	
6.4. Блискавкозахист будівель і споруд на об'єкті	98
6.5. Пожежна безпека	100
.....	
Розділ 7. Техніко-економічне обґрунтування	102
.....	
Висновки	107
Література	108
.....	

ВСТУП

Тепличне виробництво в даний час розвивається як динамічна і ефективна галузь сільського господарства, що має значення для постачання населення свіжими і багатими на вітаміни овочами, коли не поступає продукція з відкритого ґрунту.

Врожай у сільському господарстві визначається в основному рівнем агротехніки і прийомами меліорації. Його обмежують визначені фактори життя, насамперед, забезпеченість рослин водою і живильними речовинами. Від того, як землекористувач може керувати цими факторами, залежить величина і якість врожаю.

Вирощування продукції в теплицях за методом гідропоніки дозволяє спрямовано діяти на рослини через мінеральне живлення, стримувати (при необхідності) вегетативний ріст і створювати оптимальні умови для плодоношення. Поряд з цим можна регулювати надходження поживних речовин залежно від умов і фази розвитку рослин, а також від умов світлового потоку, який потрапляє на рослину, що особливо важливо при ранній культурі овочів.

На сьогоднішній день найбільш прийнятним способом поливу, який добре себе зарекомендував, є крапельне зрошення та подання живильного розчину.

Основні переваги даного способу – висока економічна ефективність завдяки підвищенню врожайності і значна економія енергії.

Сучасна автоматизована система керування концентрацією живильного розчину повинна підтримувати не тільки заданий режим, але і максимально ефективно використовувати можливості виконавчих систем.

В даний час доцільніше використовувати контури керування концентрацією живильного розчину з контуром освітленості і сонячної радіації, оскільки вони дозволять підвищити врожайність рослин. Поглинання

рослиною поживних речовин залежить від зовнішніх факторів, насамперед від інтенсивності освітленості і сонячної радіації. Тому при обробі томату в осінньо-зимовий період слід враховувати низьку сонячну радіацію з довжиною хвилі 300 – 400 нанометрів й з урахуванням цих факторів змінювати склад поживних речовин, що сприяє збільшенню врожайності рослини на 10 %. При високій освітленості (липень – серпень) потрібно вносити значну кількість аміачних форм азоту, а також зберігати концентрацію в межах в 2 – 2,7 мСм/см при різних стадіях росту рослини.

Досвід впровадження автоматизованих систем керування показує, що на етапі проектування системи досить складно вибрати єдиний критерій керування. Тому в системі керування повинна існувати можливість оперативної зміни критерію під час експлуатації, при чому методи його завдання повинні в наочній формі відображати агрономічні, економічні та технічні вимоги, пропоновані до системи. Таким чином, сучасна система керування повинна дозволяти задати не тільки один з перерахованих вище критеріїв керування чи їх комбінацію, а й будь-який інший, який виникає в процесі виробництва, надаючи агроному-технологу широкі можливості у виборі методу підтримання показників живильного розчину при вирощуванні томатів в тепличному господарстві.

Об'єктом дослідження є процеси автоматичного керування основними параметрами живильного розчину в теплиці при вирощуванні помідорів.

Предметом дослідження є система керування концентрацією живильного розчину, яка побудована із врахуванням технологічних обмежень при формуванні керуючої дії.

Методи дослідження, які застосовувались для розв'язку поставлених задач, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, математичної статистики, були використані для дослідження інтенсивності сонячної радіації; методи пасивного експерименту – для отримання математичних моделей; методи й засоби інформаційних технологій – для створення програмного та інформаційного забезпечення системи керування.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування системи керування концентрацією живильного розчину в теплиці при вирощуванні томатів шляхом вдосконалення автоматизованої системи керування за допомогою врахування технологічних обмежень, що дозволить збільшити продуктивність вирощування помідорів.

Відповідно до зазначеної мети, в роботі поставленні наступні задачі:

- дослідити вплив технологічних обмежень на якість регулювання концетрацією живильного розчину в теплиці при вирощуванні помідорів;
- проаналізувати алгоритмічні та структурні рішення, які враховують обмеження в системі керування, та дослідити можливість їх використання в типовій системі регулювання;
- на основі використаного аналізу, удосконалити систему автоматичного керування концентрацією живильного розчину в теплиці при вирощуванні помідорів;
- зробити розрахунок основних параметрів запропонованих алгоритмів для синтезу локальної системи керування концентрацією живильного розчину;
- розробити і дослідити математичну модель для забезпечення заданого технологічного діапазону контрольованих змінних та зменшити інтегральні показники у порівнянні з типовими рішеннями;
- провести техніко–економічний розрахунок доцільності впровадження результатів бакалаврської роботи.

РОЗДІЛ 1

РІВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ТЕПЛИЦІ

1.1. Технологічна характеристика процесу поливу рослин в гідропонних теплицях

Об'єктом дослідження є промислова теплиця площею 2 га, яка була збудована для вирощування томатів сорту Раїса F1, що є найпопулярнішим гібридом помідора в країнах Європи. Комп'ютерний контроль над мікрокліматом в теплицях дозволяє вести постійний аналіз внутрішніх і зовнішніх кліматичних показників (температури, швидкості і напрямку вітру, вологості, рівня сонячної радіації).



Рис. 1.1. Блочна теплиця для вирощування помідорів

На рис.1.2 показано системи, якими керує комп'ютер.



Рис. 1.2. Основні контрольовані комп'ютером параметри в теплиці

Автоматизована система крапельного зрошування вже встигла стати еталонною для підприємств, що займаються вирощуванням рослин у закритому ґрунті. У комплексі з постійним лабораторним моніторингом якості субстрату і води ця система дозволяє абсолютно точно дозувати полив і підживлення рослин в залежності від того, на якій стадії вегетації вони знаходяться. Зрозуміло, що така система поливу істотно знижує витрати води, але головне це— те, що вона дозволяє гарантовано отримувати високоякісний урожай. Крім того, використовують ультрафіолетову очистку дренажної води.

Один з найважливіших методів впливу на ріст, дозрівання та урожайність томатів є правильне приготування і дотація живильного розчину. Живильний розчин являє собою водний розчин, поживних речовин необхідних рослині для життя і зростання. Жоден інший метод не надає такого значного впливу на рослини, як живильний розчин, тому що жоден субстрат не може володіти всіма необхідними елементами, на протязі всього життя рослини які потрібні на тому чи іншому етапі розвитку.

Звичайні добрива за своїм складом не годяться для гідрокультури. По-перше, вони часто містять занадто бідний набір необхідних мікроелементів, і по-друге, ймовірна можливість їхнього надлишку.

Перевід рослини з ґрунту на гідрокультуру, необхідно деякий час «привчати» до розчину. Перші 3 дні після пересадки живильний розчин

повинен мати 10 % концентрацію, потім 20 % – 25 %, потім, останні три дні, – 50 %. Не раніше ніж через 10– 12 днів після пересадки рослина переводять на живильний розчин 100 % концентрації.

1.1.1. Живильні розчини для томату

Томат відрізняється підвищеним виносом поживних елементів в порівнянні з культурою огірка в перерахунку на одиницю продукції. Середнє співвідношення N:P: що склало 27,0:23,3:49,7. Приблизно 75% сирової маси в томатах припадає на плоди, в яких, виключаючи кальцій і магній, міститься більше половини поглинених поживних речовин. Отже, основна маса їх використовується рослинами в період плодоношення. У томатів, так само як і в огірка, в перших фазах росту зростає потреба в фосфорному живленні на помірному фоні азотного і калійного. У цей період в живильному розчині досить 120-130 мг/л азоту та 240–260 – калію при вмісті 70 мг/л фосфору. Співвідношення аміачної форми азоту до нітратної має становити 1:3.

Періоди посиленого росту, масового цвітіння і зав'язування плодів у томата супроводжуються подальшим посиленням ростових процесів. У цей час починається формування плодів на нижніх кистях і одночасно йде наростання вегетативних органів. Отже, в зазначені періоди зростає потреба рослин у азотно-калійному харчуванні. Тому в поживних розчинах вміст азоту має бути в межах 150–160 мг/л. і калію 300–320 мг/л. Під час плодоношення темпи вегетативного росту рослин знижуються. Для продовження їх росту і плодоношення рівень, постачання рослин азотом і калієм не можна знижувати. Вміст азоту в поживних розчинах доводять до 170–180 мг/л. Особливу увагу при складанні поживних розчинів необхідно звертати на співвідношення між азотом і калієм. Занадто високий вміст азоту, особливо на початку вегетації, викликає бурхливе зростання рослин, що уповільнює формування і дозрівання плодів, в результаті підвищується сприйнятливість рослин до хвороб.

До зав'язування плодів на нижніх 3–4 кистях співвідношення азоту і калію повинно становити 1:2, а в період плодоношення – 1:1,6–1,7, тобто вміст азоту в розчині можна збільшувати. Підвищене калійне живлення збільшує вміст органічних кислот у плодах, покращує смак і сприяє рівномірному фарбуванню плодів. Одночасно із збільшенням кількості поглинання азоту і калію в період плодоношення посилюється та посилюється поглинання інших елементів. Відповідно із зростанням в розчині доз азоту і калію для підтримки потрібного співвідношення поживних елементів слід змінювати і вміст фосфору. У цей період воно має бути не нижче 80 мг/л. Томат дуже вимогливий до фосфорного харчування. Потреба у фосфорі зростає в періоди наливу плодів і плодоношення.[4]

У табл. 1.1 наводиться рекомендоване співвідношення поживних елементів, які потрібно добавляти у живильний розчин з урахуванням фази розвитку рослини.

Таблиця 1.1.

Поживні елементи, які додають у живильний розчин

Поживні елементи	Стадія росту				
	Після посадки до дозрівання перших плодів	До дозрівання плодів на другий кисті	До дозрівання плодів на третій кисті	До дозрівання плодів на четвертій кисті	Від дозрівання плодів на п'ятій кисті і до завершення вегетації
	Вміст поживних елементів в розчині мг/л.				
<i>N</i>	70	80	100	120	150
<i>P</i>	50	50	50	50	50
<i>K</i>	120	120	150	150	200
<i>Ca</i>	150	150	150	150	150
<i>Mg</i>	40	40	40	50	50

Продовження таблиці 1.1

Поживні елементи	Стадія росту				
	Після посадки до дозрівання перших плодів	До дозрівання плодів на другий кисті	До дозрівання плодів на третій кисті	До дозрівання плодів на четвертій кисті	Від дозрівання плодів на п'ятій кисті і до завершення вегетації
	Вміст поживних елементів в розчині мг/л.				
<i>S</i>	50	50	50	60	60
<i>Fe</i>	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
<i>Cu</i>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<i>Mn</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>Zn</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>B</i>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
<i>Mo</i>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Томату потрібно відносно багато магнію, особливо в період наливу плодів. Вміст магнію і кальцію в живильному розчині визначається не тільки потребою рослин в них для побудови органічної речовини рослин, але і для створення живильного середовища, що забезпечує хороший ріст кореневої системи. Співвідношення Ca:Mg повинно бути рівним 1:4. Концентрація магнію в поживних розчинах в період посиленого вегетативного росту повинна становити 50 мг/л, а в періоди наливу плодів – 60 мг/л, кальцію – відповідно 200 і 240 мг/л. Поглинання поживних речовин рослинами залежить від зовнішніх факторів, насамперед від інтенсивності освітлення.

Тому при обробі томата в осінньо-зимовий період в умовах пониженого освітлення поживні розчини необхідно складати з урахуванням цього чинника. При коригуванні змісту основних елементів (N, P, K, Ca і Mg) має враховуватися і співвідношення аміачного і нітратного азоту в залежності від періодів росту рослин та інтенсивності сонячної радіації. У перших фазах росту і розвитку рослин при високій освітленості теплиць (липень – серпень) в живильний розчин без побоювання можна вносити значну кількість аміачних форм азоту при співвідношенні $N-NH_4:N-NO_3 = 1:2$. У вересні та жовтні вона повинна складати 1:3 і більше. У листопаді – грудні аміачні форми азоту

повністю виключають з розчину. Як відомо, при слабкій асиміляції і нестачі вуглеводів накопичився в рослинах аміак може викликати їх отруєння. Щоб передбачити це, в осінньо-зимовий період необхідно збільшувати концентрацію нітратного азоту і калію. Якщо після посадки рослин співвідношення азоту і калію становить 1:1,2– 1,5, то в період плодоношення – 1:2,5, а наприкінці плодоношення – 1:3 і більше. При недоліку освітлення потреба рослин у калії зростає.

1.1.2. Субстрати для вирощування

Новий завод Cultilène побудував виробництво мінеральної вати для потреб сільського господарства. Виробництво розміщено в Чехії та Голландії. Новітнє обладнання дозволило технологам заводу досягти абсолютної однорідності структури субстрату і відсутності будь-яких вкраплень. Оновлений субстрат Cultilène не поступається, а за багатьма характеристиками навіть перевершує кращі світові марки сільськогосподарської мінеральної вати.

Мінераловатний субстрат виготовляється з базальту каменю, розташованого в поверхневих шарах земної кори і потрапляє на поверхню у вигляді лави.

У печах розплавляють застиглу на поверхні землі багато тисяч років тому лаву. Після цього рідкий базальт скручується в великих центрифугах до отримання необхідних волокон. Охолоджується до 250°C волокна пресуються для отримання готового мінераловатного субстрату. Структура субстрату досить повітряна, пори складають 97 %структури. Базальт перетворюється на мінеральну вату: і отримують абсолютно натуральний і інертний субстрат без всяких домішок.

Популярність мінерального субстрату постійно зростає за рахунок наступних переваг які показані на рис. 1.3.

Субстрат мінімізує використання дезінфікуючих засобів, легко утилізується. Природа непостійна і непередбачувана. Мінераловатний субстрат допоможе зменшити ризики і зробити культивування більш контрольованим.



Рис. 1.3. Основні переваги вирощування рослин на мінеральному субстраті

Культилен розробив широкий спектр товарів, які відповідають вимогам рослинництва. Компанія виготовляє різні види мінераловатного субстрату.

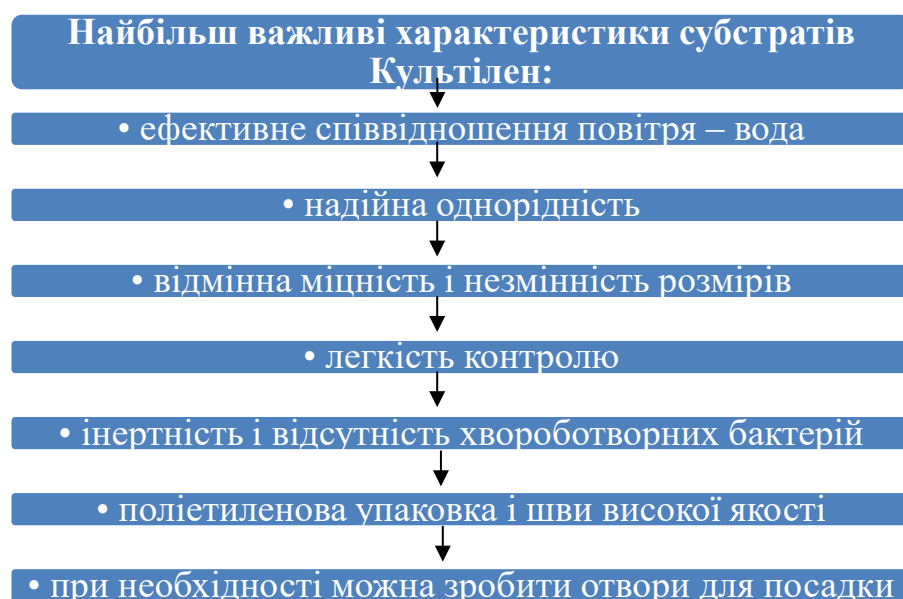


Рис. 1.4. Важливі характеристики субстратів

Мінеральна вата Культілен володіє великим буфером води, але вона також робить воду більш доступною для рослини.

Контрольованість є пріоритетом номер один для Культілена: підприємство повинне управляти тепличним господарством, бути в змозі повністю контролювати процес, а це можливо тільки при повному контролі матів. Крім контрольованості, компанію також хвилює однорідність мінераловатного субстрату. Це властивість повинна забезпечувати вільний і безперервний ріст кореневої системи при постійних умовах. Тільки за цієї умови можливо точно планувати необхідну кількість води і поживних речовин, необхідних для отримання оптимального врожаю.

Поверхня на якій знаходиться мат повинна бути рівною і мати необхідний нахил для дренажу (інакше в маті можуть утворитися вологі і сухі місця).

Постачання живильним розчином з крапельниць повинно бути рівномірним. Мінераловатна продукція Культілен добре відома своєю функціональною міцністю. Міцність мінераловатного субстрату точно пристосована до його періоду використання, 1–2 роки або багаторічні мати. За рахунок своєї міцності структура матів залишається неушкодженою протягом усього періоду використання, що означає підтримку оптимальної контрольованості. Міцність також забезпечує незмінність розмірів при будь-яких обставинах. Більше того, незмінність розмірів матів і кубиків Культілен гарантує їх максимальний контакт між собою.

Це означає, що коренева система має поліпшені можливості росту із кубика в мат, кубик більш стійкіший на маті.

У початковому стані субстрат не містить поживних елементів. Будь-які хвороботворні гриби і організми знищуються під час процесу виробництва під впливом високих температур. Співвідношення сировини і виробничого процесу забезпечує субстрату інертність і свободу від шкідливих бактерій.

За бажанням, в упакованих матах можуть бути зроблені отвори для посадки. Це дає наступні переваги: економія часу рослинникам, немає

плівкового сміття, точне автоматичне розташування отворів, розміри отворів незмінні. Форма отвору залежить від рослини – для томата Ø 100 мм.

В табл. 1.2 наведено назви мінеральних субстратів (матів) та їх властивості, які застосовують в теплицях для вирощування різних рослин.

Таблиця 1.2

Назви мінеральних субстратів (матів) та їх властивості

Назви мінеральних матів		Властивості мінеральних матів
1.	Exact ® I	Міцний мат для однорічного використання. Міцність мата забезпечує незмінність співвідношення повітря-вода протягом терміну використання. Таким чином умови культивування залишаються незмінними та керованими протягом усього року. У основному горизонтальна структура волокон мата забезпечує добре формування кореневої системи та її розгалуження по всьому маті. Більш того, структура волокон сприяє циркуляції повітря в маті і ідеальному контролю вологості та харчування.
3.	MaXXima	Більш волога альтернатива. Мати MaXXima виготовляються з унікальною Х-структурою волокон для ідеального контролю та розвитку кореневої системи.
4	Exact ® II	MaXXima відрізняється від інших типів матів більш високою здатністю утримувати вологу в інтенсивних умовах вирощування.
5.	Exact ® III	Горизонтальна структура волокон матів Exact III розроблена для довгострокового використання, при необхідності також для вирощування в контейнерах. Мати мають повітряну структуру, таким чином співвідношення повітря-вода підтримується на необхідному рівні і легко контролюється. Ці мати рекомендується пропарювати.
6.	Grodan	Завдяки горизонтальному розташуванню волокон субстрат чудово утримує воду, і ви можете не турбуватися за здоров'я ваших рослин в разі раптової відмови системи поливу. Крім того, коріння при такому розташуванні волокон краще освоюють корисний об'єм, забезпечуючи потужну систему харчування для рослини, що чудово позначається на кількості і якості врожаю.

Поверхня під матами повинна бути рівною з невеликим нахилом для гарного відтоку рідини. Мати повністю осушуються.

Для створення оптимального співвідношення вода-повітря перед використанням необхідно просочити мат розчином поживних речовин протягом 1–2 днів. Якщо мати недостатньо вологі перед посадкою, не можна використати їх можливості в повному обсязі. При зволоженні матів є відмінна можливість перевірити колювання крапельниць [1].

Дренажні розрізи в поліетилені необхідні, щоб зайва вода вільно покидала мат. Зробити потрібно ці розрізи після повного зволоження мату, перед установкою кубиків. Робіть розрізи від нижньої частини мату вгору для уникнення пошкодження поліетиленової упаковки. Після розміщення блоків на матах, їх необхідно часто зволожувати для забезпечення хорошого вкорінення рослин. Як тільки коріння добре проникли всередину, полив може бути організований таким чином: регулярно перевіряйте обсяг дренажу; почати полив при появі випарів; припиняйте полив принаймні за 2 години до заходу сонця, а в похмурі дні навіть раніше; час зупинки поливу залежить від погоди, рослини та обраної стратегії іригації.

Загалом, якщо вночі вміст води в маті знижується більше 10%, то нічний полив необхідний. У цей час рівень електропровідності (ЕС) в маті піднімається із-за добавки поживних речовин. Боротися з цим можна шляхом виключення солей, збільшуючи відсоток дренажу в найспекотніший час днем.



Рис. 1.5. Методи зміни вмісту води і рівня електропровідності в маті (мінеральному субстраті)

Після періоду контролю за рослиною важливо зберегти достатньо сил для росту рослини та її плоду. З цього часу необхідно забезпечити належний дренаж рослин за допомогою правильного поливу. Загальний відсоток дренажу (в день) повинен бути 30–50% (залежно від рослини). Для зміни вмісту води і рівня ЕС в маті, може бути використані наступні методи.

1.1.3. Баки запасу води

Для зберігання запасу води, необхідного при приготуванні розчинів, а також створення добового резерву застосовуються спеціальні ємності об'ємом до 160 м³.

Ємності встановлюються в сервісній зоні блоку теплиці і являють собою круглі резервуари, які складаються з ретельно відцентрованих гальванізованих гарячим способом гофро-листів з подвійним рядом монтажних отворів для точності і простоти складання. Внутрішнє облицювання складається з ємності ПВХ товщиною 0,5 мм і з тканини, а також поліестеру вздовж верхньої кромки для міцності. Розміри ємностей визначаються з урахуванням прив'язки до сервісної зони.



Рис. 1.6. Комплект баків денного запасу води

На рис. 1.7 показано баки запасу води для крапельного поливу і приготування живильних розчинів.



Рис. 1.7. Баки запасу води для приготування розчинів

1.1.4. Лотки для вирощування помідорів

Лоткова система вирощування рослин призначена для мінеральної вати, інших субстратів безпосередньо в які висаджуються рослини. Підвісні лотки можуть бути сталевими оцинкованими або пластиковими, тоді вони входять до складу каркаса. Існують варіанти коли лотки укладаються на підставки – опори або укладаються на ґрунт.

Перевага системи підвісних лотків в тому, що субстрат на абсолютно рівній поверхні, при цьому досягається рівномірний розподіл вологи. Вологість на всьому протязі практично однакова: 75–80%, економія води і добрив становить 30%, рослина відчуває менший стрес при скачках температури.

Технологічна лоткова система вирощування овочів показана на рис.1.8.



Рис. 1.8. Лоткова система вирощування овочів

Сталеві лотки призначені для розміщення на певній висоті субстратних матів, а також для збору і відводу дренажу. Лотки виготовляються на місці всередині теплиці за допомогою мобільного формувальної установки і виготовляються точно по довжині теплиці. Кількість стикувань лотків мінімізоване і витік дренажу практично виключена.

Наприкінці лотків для збору дренажного розчину встановлюється дренажний збірник кожен лоток. Збірники виготовлені з полістиролу і кріпляться до лотка болтовими з'єднаннями з нержавіючої сталі. Дренажний збірник має відповідний отвір $\varnothing 40$ мм, який сполучається гнучким шлангом з колекторним трубопроводом з ПВХ. Дренажна вода після очищення надходить у відкриту ємність для збору і зберігання води. Збірник показано на рис. 1.9.

Наприкінці лотків для збору дренажного розчину встановлюється дренажний збірник кожен лоток. Збірники виготовлені з полістиролу і кріпляться до лотка болтовими з'єднаннями з нержавіючої сталі. Дренажний збірник має відповідний отвір $\varnothing 40$ мм, який сполучається гнучким шлангом з колекторним трубопроводом з ПВХ. Дренажна вода після очищення надходить у відкриту ємність для збору і зберігання води.



Рис.1.9. Збірник дренажного розчину

1.1.5. Система приготування живильного розчину

Розчинний вузол Vocom – це установка, призначена для приготування та подачі живильного розчину, що відрізняється надійністю та довгим терміном служби. Розчинний вузол TSS складається з металевої рами, на якій змонтований змішувальний бак, резервуарний системний насос і фільтри.

Розчинний вузол регулює рівень ЕС (електропровідність) і рН (кислотність) поливної води і виробляє її фільтрацію. Розчинний вузол TSS Vocom передбачає використання баків А-В, в яких розчиняють тверді або рідкі добрива.



Рис. 1.10. Поливна установка «Vocom» з комп'ютерним керуванням

Переваги автоматизованого вузла системи TSS зображено на рис.1.11.

Автоматизовані вузли TSS крапельного поливу дають наступні переваги:
- точний і достовірний рівень ЕС і рН за рахунок великого змішувального бака. - подвійне вимірювання рівня ЕС і рН з автоматичним контролем
- моторизовані крани для точної дотації крапельного поливу - рівнеміри в розчинних баках А, В для рівномірної подачі розчину з А, В баків зображено на рис. 1.3.3
- зниження рівня змішувального бака в разі подання декількох живильних розчинів.
- простота технічного обслуговування. - контроль електричних клапанів. - контроль потоку.

Рис. 1.11. Переваги системи крапельного поливу TSS



Рис. 1.12. Моторизовані крани для точної дотації крапельного поливу

Розчинний вузол встановлений на сталевий рамі з резервуарним і системним насосом. Додатково облаштовано великий змішувальний бак, комп'ютер з власним програмним забезпеченням. Потужність розчинного вузла розраховується під конкретну площу.

В змішувальному баку об'ємом 1.100 л розчин знаходиться протягом 30 секунд. Добрива з баків А, В і кислотного бака впорскуються за допомогою модульованих клапанів і водорозбірних трубок Вентурі. До розчинного вузла підключено 4 розчинних бака об'ємом 2.000 л кожний і один кислотний бак

об'ємом 1.000л. Кожен бак закривається кришкою поліпропіленовою (рис.1.13).



Рис. 1.13. Баки рівномірної подачі розчину в теплицю

Розчинний вузол обладнаний резервуарним і системним насосом і циркуляційним фільтром, який очищує кожну напірну лінію, управляється комп'ютером «Sercom».

Пісочний фільтр є автономним вузлом з автоматичним зворотнім промиванням він призначений для очищення води, що надходить в бак денного запасу води.

Від розчинного вузла магістральний трубопровід ПВХ діаметром 125 мм йде уздовж центральної доріжки. З кожної сторони доріжки організовуються кранові відділення, всього 8 кранових відділень. До магістрального трубопроводу підключається кранова стійка 2,5" і 75 мм, що включає в себе електромагнітний клапан (24 В постійного струму). Від кранової стійки йде суб-лінія вздовж центральної доріжки. Суб-лінія закінчується трійниками 75 ПВХ х 32 х 75 ПЕ ПВХ, до яких приєднуються краплинні шланги ПЕ 32 мм.

У системі використовуються крапельниці з компенсацією тиску. За потребами можливо використовувати систему капілярів, коли крапельниці харчуються з середини ПЕ шланга.

Велика частина живильного розчину, що надходить до рослин, засвоюється ними. Однак для нормального росту і функціонування кореневої системи необхідно, щоб частина розчину йшла в дренаж. Добова кількість дренажу може становити від 30 % до 60 % залежно від культури, пори року та інших факторів. Це забезпечує гарне зволоження субстрату і подачу необхідної кількості поживних речовин рослинам без його засолення. Для правильного дозування живильного розчину необхідний постійний кількісний і якісний контроль дренажу – важливо знати його кількість, кислотність, і кількість розчинених у ньому солей. У той же час, з дренажем втрачається багато води і мінеральних добрив, а скидання дренажу в каналізацію або водойми шкодить екології та тягне за собою великі штрафи. Тому дренаж необхідно збирати і використовувати повторно. Однак зібраний дренаж містить багато механічних і біологічних забруднень, тому його використання без очищення і дезінфекції не допустимо. У теплицях, встановлено систему збору та рециркуляції дренажу.

Автоматизована система знезараження дренажу зображена на рис.1.14.



Рис. 1.14. Система знезараження дренажу

Система дозволяє без втрат збирати, контролювати, фільтрувати, знезаражувати, і повторно використовувати дренаж. Нижче наводиться загальний опис системи збору та рециркуляції дренажу на прикладі тепличного комплексу з рослинами, які вирощуються в ізолюваному від ґрунту субстраті на краплинному поливі.

На кожному прольоті теплиці виводяться випуски діаметром 50 мм, з'єднані з дренажними трубами діаметром 125 мм, укладеними під землею вздовж обох кінців фронтонів кожного відділення. Дренажні труби з'єднані трубою діаметром 160 мм до підземного герметичному дренажного колодязя ємністю близько 1 м³. виготовленому з поліетилену або склопластика, розташованому в теплиці вздовж центральної доріжки. У колодязі знаходиться поглиблений насос, підключений через зворотний клапан до напірного трубопроводу діаметром 110 мм. Напірний трубопровід прокладений від колодязів ємності для неочищеного дренажу великого обсягу. Об'єм ємності дозволяє збирати і зберігати до обробки більш ніж добового обсягу дренажу. Трубопроводи комплектуються ручними кранами та з'єднувальними фітінгами. Всі деталі трубопроводів виготовлені з ПВХ, що разом з підземною прокладкою гарантує їх роботу протягом усього терміну експлуатації теплиці, без обслуговування, заміни та ремонту.

Перед надходженням в ємність дренаж проходить через датчики потоку, температури, ЕС і рН. Датчики підключені до єдиної системи автоматики для кількісного і якісного контролю дренажу і автоматичної корекції поливів.

Хороша попередня фільтрація має велике значення для подальшої дезінфекції.

Частинки, які можуть міститись у воді, можуть створювати тінь при опроміненні та переносити з собою хвороботворні мікроорганізми. Для цього в комплект входить Фільтростанція з піщаним фільтром глибокого очищення. Фільтростанція є повністю автоматичною, з системою зворотного промивання, який включається за часом або при різниці тисків на вході і виході.

Перед надходженням в ємність дренаж проходить через датчики потоку, температури, ЕС і рН. Датчики підключені до єдиної системи автоматики для кількісного і якісного контролю дренажу і автоматичної корекції поливів.

1.2. Вплив освітленості на зростання рослини

Світло необхідне для росту рослин. Природний сонячне світло є найдешевшим доступним джерелом, але для тепличного бізнесу його не завжди вистачає в повному обсязі. Поглинання поживних речовин залежить від зовнішніх факторів насамперед від інтенсивності освітленості і сонячної радіації.

Рослини чутливі до спектру світла зовсім інакше, ніж люди. Якщо говорити про світло для зростання, воно визначається кількістю енергетичних частинок, також званих фотонами або квантами, енергія фотонів різна і залежить від довжини хвилі (спектрального кольору).

Єдина частина всього спектру випромінювань, яка може використовуватися рослинами для фотосинтезу, знаходиться в діапазоні між 400– 700нм і називається ФАР (фотоактивним радіація). Кількість фотонів в діапазоні фотоактивної радіація називається світлом для зростання і вимірюється в мікромолях (мкмоль). Таким чином, близько 45% глобального випромінювання належить до області фотоактивної радіація.

Фотосинтез є базовим процесом, який веде до зростання рослин, і світло є його важливою частиною, яке також впливає на живлення рослини живильними розчинами в залежності від стадії росту рослини. Його енергія використовується для утворення глюкози з вуглекислого газу (CO_2) і води, які поглинаються листям і корінням. На рис.1.15 показано, як відбувається фотосинтез рослин і які речовини вона поглинає а які виділяє.



Рис. 1.15. Фотосинтез рослин

Кількість CO_2 , яку рослина поглинає, вимірюється для кожного типу світла. Результат показав, що рослина поглинає більшу кількість CO_2 в червоному світлі і міру в блакитному світлі (рис.1.16).

Відносна чутливість рослин до різних кольорів світла може бути перевірена шляхом розміщення рослини в невеликому герметичному корпусі для зростання. Рослину послідовно піддаються різним кольорам світлового випромінювання.

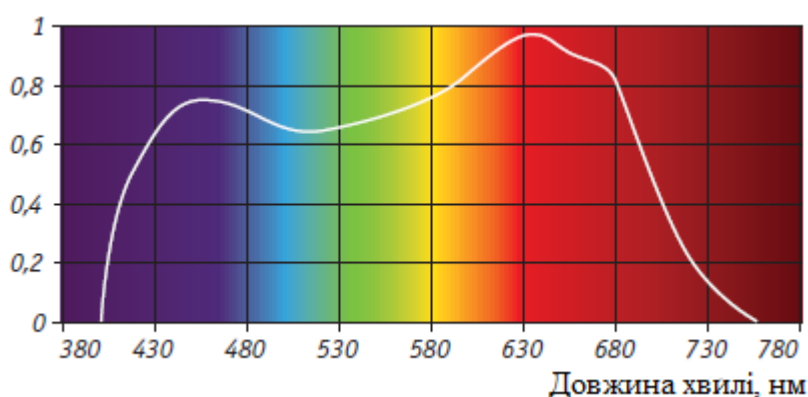


Рис. 1.16. Відносна чутливість рослини до кольору випромінювання

Додаткове світло використовується для стимуляції фотосинтезу. Червоне світло найбільш підходить для розвитку рослин і їх плодів.

У тепличних господарствах Голландії, Німеччини застосовують або фіто-лампи LED типу, або натрієві високого тиску які виробляють помаранчевий світло. Це світло являє собою суміш в основному червоного світла із деякими жовтими та синіми відтінками. На рис. 1.17 показано розміщення фіто-лампи для досвітлення рослин.



Рис. 1.17. Розміщення LED лам для досвічування помідорів

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ТЕПЛИЦІ

2.1. Дослідження масообмінних процесів при керуванні концентрацією живильного розчину в теплиці

При математичному описі системи живлення рослин в процесі крапельного зрошення, як об'єкту регулювання концентрацією живильного розчину в субстраті необхідно встановити динамічну залежність концентрації розчину від його подачі і інтенсивності волого обміну рослин в шатрі теплиці

Розрахункова модель коренежиттєвого середовища рослин являє собою об'єм субстрату обмежений циліндричною поверхнею (оболонкою) заповнений субстратом (дисперсним матеріалом) з пористістю ε_0 з об'ємом до 5 дм³ в якому рівномірно розгалужена коренева систем однієї рослини. Процес мінерального живлення, тобто подача мінерального розчину до кореневої системи рослини відбувається періодично крапельним способом. Розчин що поступає з крапельниці рівномірно розосереджується в поперечному перетині контейнера і рухається вертикально в низ. Частина розчину поглинається (абсорбується) дисперсною твердою фазою рослинного матеріалу, решта відводиться в дренаж.

При записі рівняння збереження речовини в системі потоку рідини – дисперсна насадка (субстрат із корінням) приймаємо припущення про можливість представлення дисперно розподілених частинок в об'ємі потоку безперервно розподіленими. Це дозволяє позбавитися від необхідності задання в рівняння відомостей про розміри окремих частинок. Джерела і стоки речовини неперервно, рівномірно розподілені в об'ємі насадки субстрату.

Процес масообміну полягає в перенесені речовини (або її певного інгредієнту) із рідкої фази в тверді частинки – тобто має місце процес абсорбції.

На протязі часу вміст речовини концентрації в розчині і частинках змінюється. Тобто процес є несталим. Якщо розглядати розподіл концентрації перенесеної речовини в рухомому середовищі то не рухомий шар субстрату по відношенню до нього відіграє роль стоку (перехід речовини в шар). Тому поле концентрацій переносимо речовини в рідині, що рухається крізь шар можна описати рівнянням конвективного переносу, для однієї течії в напрямку вісі X має вигляд:

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial C_i}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - \frac{r_i}{\varepsilon},$$

де C_i – вміст речовини i , в одиниці об'єму рідкої фази; r_i - потужність джерела речовини i , тобто маса речовини, що переходить до одиниці об'єму шару в одиниці часу.

Якщо перенос речовини відбувається шляхом дифузії, то для шару, що утворено частинками однакового розміру:

$$r_i = -(1 - \varepsilon) \frac{\partial C_T}{\partial \tau},$$

де C_T – вміст речовини в об'ємі твердої фази.

Таким чином, концентрації адсорбата в живильному розчині і твердих фазах (коренева система) можна знайти інтегруванням рівняння збереження:

$$\varepsilon \frac{\partial C}{\partial \tau} + \omega \frac{\partial C}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \rho_2 \frac{\partial C_T}{\partial \tau} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} + \frac{\partial C}{\partial r}, \quad (2.1)$$

разом з рівнянням масообміну

$$(1 - \varepsilon) \rho_2 \frac{\partial C_T}{\partial \tau} = \beta \cdot F_1(C - C^*), \quad (2.2)$$

де ω – швидкість руху речовини в простому тілі, кг/с; ε – пористість субстрату з корінцями; ρ_2 – густина сухої речовини адсорбенту, кг/м³; C – концентрація речовини в рідкій фазі, кг/м³; C_T – концентрація речовини в твердій фазі, кг/м³; C^* – концентрація адсорбенту в рідкій фазі, рівноважна її значенню в твердій фазі кг/м³; β – концентрація масообміну, кг/м³; F_1 – поверхня в одиниці об'єму м²/м³.

Для математичного опису процесів масопереносу якії супроводжується випаровуванням вологи з поверхні твердої фази рівняння (2.1) потрібно доповнити складовою у вигляді об'ємного джерела, відповідно до кількості випаровувальної вологи.

Розв'язок сформовано задачі, можна знайти при наявності ще одного рівняння концентрації C^* . Рівновагу між величинами концентрацій можна, в першому наближенні прийняти лінійною тобто:

$$C^* = K_p C_T, \quad (2.3)$$

де K_p – константа адсорбції рівноваги кг/м^3 сухої речовини.

Права частина рівняння збереження (2.1) характеризує перенос речовини в рідкій фазі шляхом дифузії, може являти інтерес коли крізь бокову (циліндричну) поверхню контейнера підводиться або відводиться абсорбуємий компонент суміші розчину, тобто стінки контейнера можуть бути джерелами або стоками речовини. В постановці нашої задачі такий випадок не розглядається так, як прийнято припущення про одномірний рух розчину.

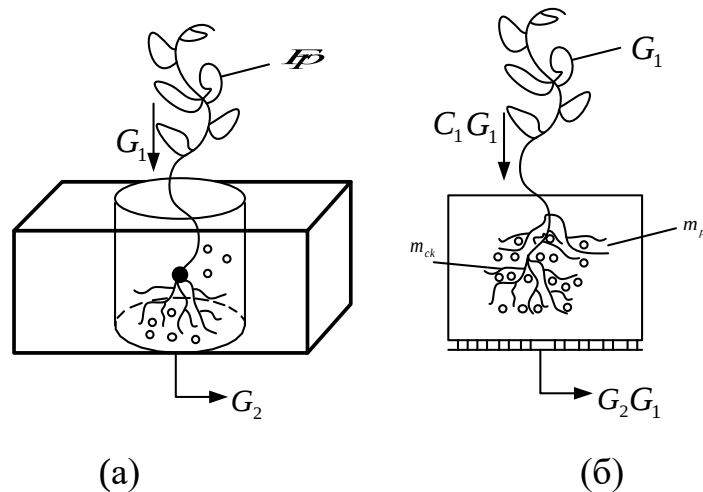


Рис. 2.1. Розрахункова схема концентрації живильного розчину
а – витрати живильного розчину; б – концентрація живильного розчину

Оскільки механізм внутрішнього (внутрикореневого) масо переносу визначається біофізичними процесами в живому тілі розв'язок рівняння переносу речовини в твердій фракції відпадає.

Концентрація адсорбенту в середині твердої фракції розподіляється рівномірно. Це означає, що ефект граничних умов на поверхні вноситься в рівняння збереження.

Якщо в одиниці об'єму субстрату, за одиницю часу з потоку виносяться або вноситься кількість речовини q_w правої частини рівняння (2.1) треба додати додатковий член q_w , який має розмірність $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$. Явний вигляд об'ємних джерел або стоків визначається фізичною картиною процесу.

В нашому випадку з одиниці об'єму субстрату (включаючи кореневу частину рослин) виводиться зовні певна кількість речовини яку можна з певним ступенем подільності, прирівняти кількості вологи, що випаровується з листової частини рослин. При цьому вважаємо, що наприклад на протязі добових змін навколишнього середовища маса рослини залишається не змінною, тобто вся поглинена коренем волога випаровується. Тому до рівняння масообміну (2.2) додається складова, яка визначає інтенсивність відведення вологи із кореневої частини.

$$q_0 = G_w / V_{CK}, \text{ кг} / \text{с} \cdot \text{м}^3,$$

де G_w – інтенсивність випаровування, $\text{кг} / \text{с}$; V_{CK} – об'єм поглинальної частини субстрату.

Рівняння (2.2) визначає інтенсивність масообміну на поверхні розділу фаз тверда частина – потік рідини. Цей процес надзвичайно складний і залежить від значної кількості змінних, в тому числі і біоенергетичних характеристик рослини. Швидкість процесу дифузії в рідкій фазі характеризується коефіцієнтами масопередачі кількісною характеристикою служить кінетична константа адсорбції K_a , яка може бути визначення тільки експериментально. Тому в практиці аналізу так званої динаміки адсорбції, тобто процесів адсорбції, що відбуваються в нерухомому шарі при протіканні рідини, використовують спрощенні апроксимуючі вирази для швидкості адсорбції в елементарному шарі:

$$\frac{dC_T}{d\tau} = K_a(C - C_T) \quad (2.4)$$

Використання рівняння (2.4) дає можливість позбавитись необхідності визначення коефіцієнта β і поверхні F_1 – ці величини можна визначити з порівняння рівнянь (2.3) і (2.4).

Приплив поживних речовин в кореневу частину рослин відбувається шляхом передачі через поверхню розділу від розчину до твердої фази (мінеральна вата). Відтік рідини з кореневої частини відбувається переміщенням вологи до листової частини і випаровуванням в повітря.

Рівняння збереження для розчину:

$$\varepsilon \left(\frac{\partial C}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) = (1 - \varepsilon) \rho_o \frac{\partial C_T}{\partial \tau}. \quad (2.5)$$

Рівняння збереження для субстрату:

$$(1 - \varepsilon) \rho_o \frac{\partial C_T}{\partial \tau} = Ka(C - k_p C_T) - \frac{G_w}{V_c}. \quad (2.6)$$

Отримана система рівнянь визначає динаміку масообмінних процесів у субстраті з корінням рослин з урахуванням випаровувальної здатності листової частини.

Оскільки система рівнянь (2.5)–(2.6) в частинах похідних строгого аналітичного розв’язку немає введемо додаткові спрощуючі припущення:

- величина $\varepsilon \omega_x \frac{\partial C}{\partial x}$ – визначає різницю вносимо і виділяємої із шару

кількості речовини. Оскільки висота шару субстрату не значна, приймаємо лінійний розподіл концентрації за висотою, тобто запишемо градієні концентрації в кінцевих величинах:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_1 - C_2}{H}, \text{ де } H - \text{ висота шару субстрату, м;}$$

- величина пористості ε відношенням об’єму який займає рідина до

об’єму всього шару : $\varepsilon = \frac{V_p}{V_p + V_T}$, тому розкриваючи значення ε можна

включити до рівняння (2.5) – (2.6) значення масової витрати розчину і маси рідини і субстрату в шарі.

2.2. Розробка та дослідження математичної моделі процесу керування концентрацією живильного розчину в теплиці

З урахуванням припущень, наведених у попередньому пункті, запишемо систему рівнянь у звичайних похідних:

$$m_1 \frac{dC_2}{d\tau} = G(C_1 - C_2) + K_a(K_p C_T - 0.5C_1 - 0.5C_2), \quad (2.7)$$

$$m_2 \frac{dC_T}{d\tau} = K_a(0.5C_1 + 0.5C_2 - K_p C_T) - \frac{1}{V_c} G_w, \quad (2.8)$$

де C_1, C_2 – концентрація речовини в живильному розчині на вході в шар субстрату і на його виході (дренаж).

Величини витрат свіжого розчину і дренажу можна визначити з рівня матеріального балансу:

$$G_1 C_1 - C_1 G_w - G_2 C_2 = 0, \quad (2.9)$$

Для виключення з рівняння (2.7) додаткові зміни можна використати поняття вибираємості поживної речовини з розчину: коефіцієнт відбираємості, що дорівнює відношенню $\chi = C_1 / C_2$ є величиною сталою і визначається експериментально з рівняння (2.9): $G(C_1 - \chi C_2) - C_1 G_w = 0$.

Сталими параметрами в рівняннях (2.7) і (2.8) є маса розчину в субстраті m_1 , маса сухого субстрату m_2 , коефіцієнти K_a, K_p, V_c, χ : а замінімим концентрації C_1, C_2 витрата розчину G і випаровувальна здатність рослин G_w .

Змінні параметри об'єкту керування запишемо у вигляді суми їх значень у встановленому режимі x_{io} і приросту Δx_i :

$$C_1 = C_{10} + \Delta C_1; \quad C_2 = C_{20} + \Delta C_2; \quad G = G_0 + \Delta G; \quad G_w = G_{w0} + \Delta G_w.$$

Підставляючи значення змінних параметрів в (2.7), (2.8) після множення нехтуванням складовими другого степеня малості і відношенням рівнянь

статики (рівняння (2.7) і (2.8) при $dC_T/d\tau = dC_2/d\tau$) математичну модель рівнянь у приростах.

$$T_1 \frac{d\Delta C_2}{d\tau} + \Delta C_2 = K_1 \Delta C_1 + K_2 \Delta G + K_3 \Delta C_T, \quad (2.10)$$

$$T_2 \frac{d\Delta C_T}{d\tau} + \Delta C_T = K_4 \Delta C_1 + K_5 \Delta C_2 + K_6 \Delta G_w, \quad (2.11)$$

$$\text{де } T_1 = \frac{m_1}{G + 0.5K_a}; T_2 = \frac{m_2}{K_a K_p}; K_1 = \frac{G - 0.5K_a}{G + 0.5K_a};$$

$$K_2 = \frac{C_1 - C_2}{G + 0.5K_a}; K_3 = \frac{K_a K_p}{G + 0.5K_a}; K_{4,5} = \frac{0.5}{K_p}; K_6 = \frac{1}{V_C K_C K_p}.$$

Застосовуючи перетворення Лапласа до рівнянь (2.10), (2.11) при нульових початкових умовах будемо мати:

$$(T_1 p + 1) \Delta C_2(p) = K_1 \Delta C_1(p) + K_2 \Delta G(p) + K_3 \Delta G_T(p). \quad (2.12)$$

$$(T_2 p + 1) \Delta G_T(p) = K_4 \Delta C_1(p) + K_5 \Delta C_2(p) + K_6 \Delta G_w(p). \quad (2.13)$$

З рівнянь (2.12), (2.13) отримаємо передатні функції по каналах керування і збурення :

$$W_1(p) = \frac{\Delta C_2(p)}{\Delta C_1(p)} = \frac{K_1}{T_1 p + 1}; W_2(p) = \frac{\Delta C_2(p)}{\Delta C_1(p)} = \frac{K_2}{T_1 p + 1};$$

$$W_3(p) = \frac{\Delta C_2(p)}{\Delta C_T(p)} = \frac{K_3}{T_1 p + 1}; W_4(p) = \frac{\Delta C_T(p)}{\Delta G_i(p)} = \frac{K_4}{T_2 p + 1};$$

$$W_5(p) = \frac{\Delta C_T(p)}{\Delta C_2(p)} = \frac{K_5}{T_2 p + 1}; W_6(p) = \frac{\Delta G_T(p)}{\Delta G_w(p)} = \frac{K_6}{T_2 p + 1}; - (\text{збурення}).$$

Для визначення впливу вологообміну листостеблової частини рослини з повітрям шатра теплиці на відтік води з кореневої частини складемо рівняння теплового балансу для рослин і повітря. При цьому приймемо такі припущення:

- теплофізичні характеристики середовищ і матеріалів приймаємо незалежними від температури та часу і рівними середнім значеннями за процес;
- тепловіддача від системи трубного опалення враховується потужністю системи величина якої визначається формулою: $P_{TP} = G_T C_T (\Theta_1 - \Theta_2)$, де $G_T \cdot C_T$ – теплова ємність теплоносія; Θ_1, Θ_2 – температура теплоносія на вході і виході трубного реєстру.

- теплота передається конвекцією за законом Ньютона а вологообмін відбувається за законом Дальтона, передача теплоти випромінювання враховується коефіцієнтами;

На рис.2.2 зображення структурна схема лінійної математичної моделі динамічних режимів системи живлення рослин

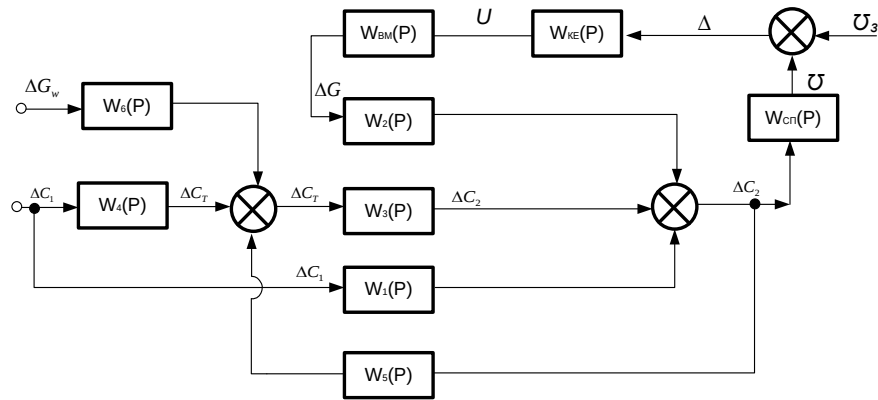


Рис. 2.2. Структурна схема лінійної математичної моделі динамічних режимів системи живлення рослин

З урахування прийнятих примушень рівняння теплового і матеріального балансу і матеріального балансу приймають вигляд:

Для повітря теплиці:

$$m_v c_v \frac{dt_v}{d\tau} = P_{TP} - K_z F_z (t_v - t_z) \alpha_k F_p (t_v - \Theta_p), \quad (2.14)$$

Для рослинного прокриву:

$$m_p c_p \frac{d\Theta_p}{d\tau} = I_p \tau \cdot F_p^\wedge \alpha_K F_p (t_v - \Theta_p) r_o \beta_p F_p (\alpha \Theta_p + c - b d_v), \quad (2.15)$$

Матеріальний баланс повітря:

$$m_v \frac{dd}{d\tau} = \beta_p F_p (\alpha \Theta_p + c - b d_v), \quad (2.16)$$

де t_v, Θ_z, Θ_p – температура повітря в теплиці, температура зовнішнього повітря, температура рослин $^{\circ}\text{C}$; P_{TP}, I_p – потужність трубчастого нагріву і інтенсивність сонячного випромінювання, Вт і $\text{Вт}/\text{м}^2$; α_K, K_z – коефіцієнти теплообміну і теплопередачі, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$; β_p – коефіцієнт вологообміну, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$, r_o – питома теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$, d_v – вологовміст повітря $\text{кг}/\text{кг.с.н.}$ τ – поглинена здатність рослин, F_z, F_p – поверхня остеклення і рослин відповідно, м^2 ; G_{w_3} – продуктивність системи зволоження повітря $\text{кг}/\text{год}$; a, b, c – коефіцієнти апроксимації залежності тиску від температури.

Після перетворень запису рівнянь динаміки у приростах, віднімання рівнянь статички, нехтування членами другого ступеня малосності рівняння приймуть вигляд:

$$m_v c_v \frac{d\Delta t}{d\tau} = \Delta P_{TP} + K_z F_z \Delta t_z + F_p \Theta_p (K_z F_z + \alpha_K F_p) \Delta t, \quad (2.17)$$

$$m_p c_p \frac{d\Delta \Theta_p}{d\tau} = \tau F_p^\wedge \Delta I_p + \alpha_K F_p \Delta t_v - (\alpha_K F_p + r_o \beta_p) \Theta_p + r_o \beta_p F_p b \Delta d_v, \quad (2.18)$$

$$m_v \frac{d\Delta d}{d\tau} = \beta_p F_p a \Delta \Theta_p - \beta_p F_p b \Delta d + \Delta G_{w_3}, \quad (2.19)$$

Застосовується перетворення Лапласа при нульових початкових умовах перепишемо рівняння у вигляді:

$$(T_3 p + 1) \Delta t(p) = K_7 \Delta P_{TP} + K_8 \Delta t_z + K_9 \Delta \Theta_p, \quad (2.20)$$

$$(T_4 p + 1) \Delta \Theta_p(p) = K_{10} \Delta I_p + K_{11} \Delta t_v + K_{12} \Delta d_v, \quad (2.21)$$

$$(T_5 p + 1) \Delta d(p) = K_{13} \Delta \Theta_p + K_{14} \Delta G_{w_3}, \quad (2.22)$$

З рівнянь (2.20) – (2.22) отримаємо передатні функції по каналам керування (з керуючими впливами ΔP_{T8} і канал ΔG_{W3}) і зовнішніх збурень (Δt_z , ΔI_p)

$$W_7(p) = \frac{\Delta t(p)}{\Delta P_{TP}} = \frac{K_7}{T_3 p + 1}; \quad (2.23)$$

$$W_8(p) = \frac{\Delta t(p)}{\Delta t_z(p)} = \frac{K_8}{T_3 p + 1}; \quad (2.24)$$

$$W_9(p) = \frac{\Delta t(p)}{\Delta \Theta_p(p)} = \frac{K_9}{T_3 p + 1} \quad (2.25)$$

$$W_{10}(p) = \frac{\Delta \Theta_p(p)}{\Delta I_p(p)} = \frac{K_{10}}{T_4 p + 1}; \quad (2.26)$$

$$W_{11}(p) = \frac{\Delta \Theta_p(p)}{\Delta t_v(p)} = \frac{K_{11}}{T_4 p + 1}; \quad (2.27)$$

$$W_{12}(p) = \frac{\Delta \Theta_p(p)}{\Delta d(p)} = \frac{K_{12}}{T_4 p + 1}; \quad (2.28)$$

$$W_{13}(p) = \frac{\Delta d(p)}{\Delta \Theta_p(p)} = \frac{K_{13}}{T_5 p + 1}; \quad (2.29)$$

$$W_{14}(p) = \frac{\Delta d(p)}{\Delta G_{W3}(p)} = \frac{K_{14}}{T_5 p + 1}; \quad (2.30)$$

$$\text{де } T_3 = \frac{m_V}{k_{o3}}; k_{o3} = K_Z F_Z + \alpha_K F_P; T_4 = \frac{m_P C_P}{k_{o4}}; k_{o4} = \alpha_K F_P + r_o \beta_P F_P a;$$

$$T_5 = \frac{m_V}{k_{o5}}; k_{o5} = \beta_P F_P b; K_7 = \frac{1}{k_{o3}}; K_8 = \frac{K_Z F_Z}{k_{o3}}; K_9 = \frac{\alpha_K F_P}{k_{o3}}; K_{10} = \frac{\tau F_P^\wedge}{k_{o4}}; K_{11} = \frac{\alpha_K F_P}{k_{o4}};$$

$$K_{12} = \frac{r_o \beta_P F_P b}{k_{o4}}; K_{13} = \frac{\beta_P F_P a}{k_{o5}}; K_{14} = \frac{1}{k_{o5}}; K_{15} = \beta_P F_P a; K_{16} = -\beta_P F_P b;$$

Кількість вологи, що виділяється з листової частини рослини дорівнює:

$$\Delta G_W = K_{15} \Delta \Theta_p + K_{16} \Delta d. \quad (2.31)$$

На основі рівнянь (2.20)–(2.22) і отриманих передатних функцій сформована лінійна математична модель температурно- вологісного режиму (повітряного об'єму) теплиці у вигляді структурної схеми на рис. 2.3.

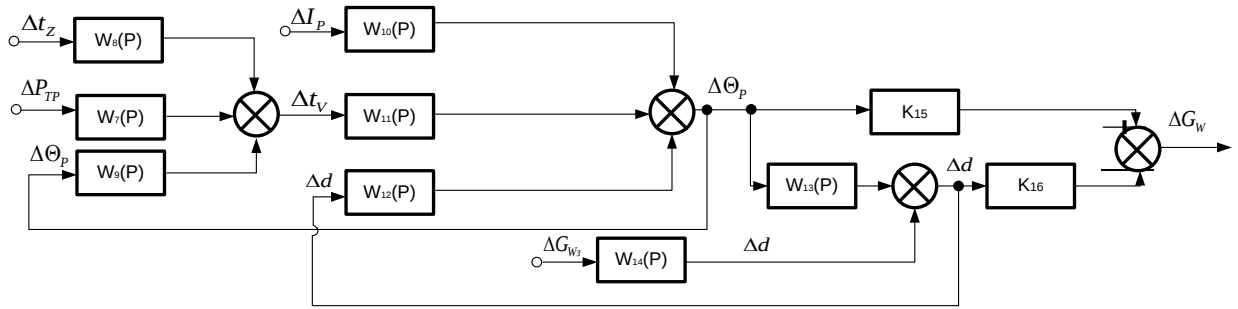


Рис. 2.3. Структурна схема лінійної математичної моделі динамічного температурно-вологісного режиму

Для дослідження перехідних процесів об'єкта керування розв'яжемо систему рівнянь (2.32) – (2.33):

$$T_1 \frac{dC_2}{d\tau} + aC_2 - b_1 = C_T, \quad (2.32)$$

$$T_2 \frac{dC_T}{d\tau} + a_2C_T - b_2 = C_2, \quad (2.33)$$

$$\text{де } T_1 = \frac{m_1}{K_C K_P}; \quad a_1 = \frac{G + 0,5K_C}{K_C K_P}; \quad b_1 = \frac{G - 0,5K_C}{K_C K_P}; \quad T_2 = \frac{m_2}{K_C}; \quad a_2 = 0,5K_P; \quad b_2 = 0,5 \frac{K_C K_P 0,5}{K_C} + \frac{G_W}{K_C}$$

Розв'язок системи рівнянь (2.32) – (2.33) відносно $C_2(\tau), C_T(\tau)$ отримаємо у вигляді :

$$T_1 T_2 \frac{d^2 C_2}{d\tau^2} + (a_1 T_2 + a_2 T_1) \frac{d^2 C_2}{d\tau^2} + (a_1 a_2 - 1) C_2 = b_2 + b_1 a_2, \quad (2.34)$$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 C_2}{d\tau^2} + (a_1 T_2 + a_2 T_1) \frac{d^2 C_2}{d\tau^2} + (a_1 a_2 - 1) C_2 = b_2 + b_1 a_2, \quad (2.35)$$

Розв'язок однотипних рівнянь отримаємо у вигляді суми розв'язків однорідного частинного рівняння

$$C_2(\tau) = C_1 e^{r_1 \tau} + C_2 e^{r_2 \tau} + \frac{D_1}{C}, \quad (2.35)$$

$$C_T(\tau) = C_3 e^{r_1 \tau} + C_4 e^{r_2 \tau} + \frac{D_2}{C}, \quad (2.36)$$

$$\text{де } r_1, r_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} - \text{корені характеристичного рівняння.}$$

Введемо позначення:

$$A = T_1 T_2; \quad B = a_1 T_2 + a_2 T_1; \quad C = a_1 a_2 - 1; \quad D_1 = b_2 + b_1 a_2; \quad D_2 = b_1 + a_1 b_2;$$

де C_1, C_4 – сталі інтегрування.

Сталі інтегрування отримаємо з початкових умов :

$$\tau = 0; \quad C_2 = C_{20}; \quad C_T = C_{T0}; \quad dC_2 / d\tau = dC_T / d\tau = 0.$$

Після визначення значень сталих C_1, C_4 із зазначених початкових початкових умов, підставимо їх у відповідні рівняння після перетворень будемо мати рівняння перехідного процесу зміни концентрацій речовин в розчині і корінні:

$$C_2(\tau) = \frac{C_{20} - D_1}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau} + \frac{D_1}{C}) \quad , \quad (2.37)$$

$$C_T(\tau) = \frac{C_{T0} - D_2}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau} + \frac{D_2}{C}) \quad , \quad (2.38)$$

Рівняння (2.37) і (2.38) дозволить отримати графіки зміни концентрації розчину на вході кубика з кореневим субстратом при керівних діях у вигляді зміни (ΔG – подачі розчину) або збурення у вигляді відтоку розчину через листову частину рослин.

Матеріальний баланс живильного розчину від освітленості:

$$\frac{V_m}{G_1 - q_w} \cdot \frac{dC_2}{d\tau} = \frac{G_1 C_1 - q_w C_r}{G_1 - q_w} - C_2, \quad (2.39)$$

де G_1 – витрати розчину на вході лотка; q_w – інтенсивність сонячного випромінювання, кЛюкс; C_r – концентрація поглинутого розчину рослиною, мСм/см²; C_1 – концентрація розчину на вході в кубик з субстратом.

Після перетворень запису рівнянь динаміки у приростах, віднімання рівнянь статички, нехтування членами другого ступеня малосності рівняння прийме вигляд:

$$C_2(\tau) = a - (a - C_1) e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (2.40)$$

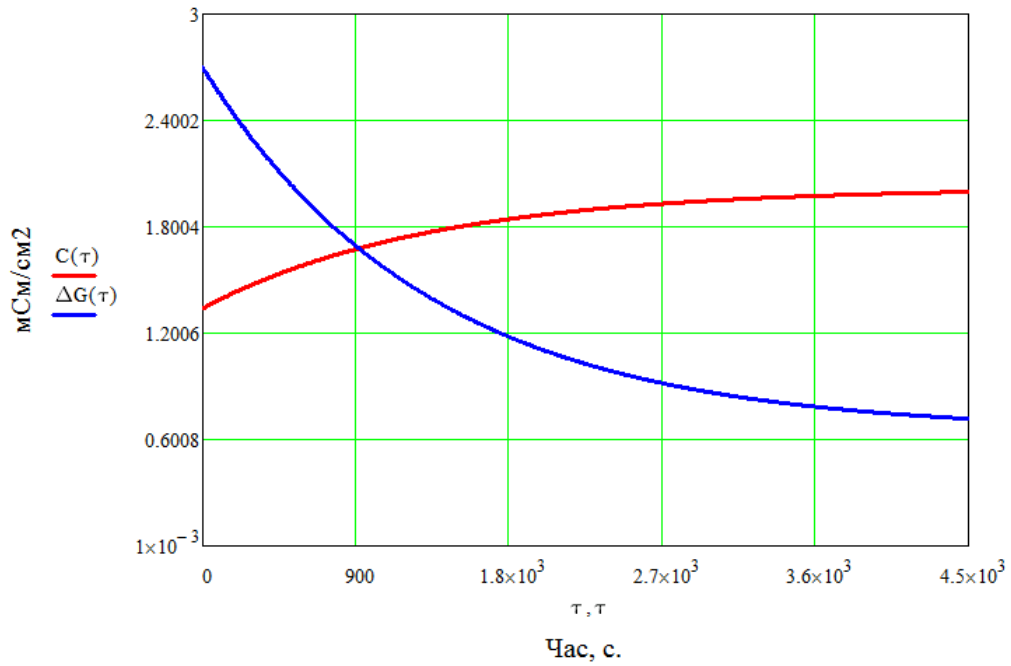


Рис. 2.4. Графіки зміни концентрації розчину на вході кубика з кореневим субстратом при керівних діях у вигляді зміни ($\Delta G(\tau)$ – подачі розчину), або збурення у вигляді відтоку розчину $C(\tau)$ через листову частину рослин

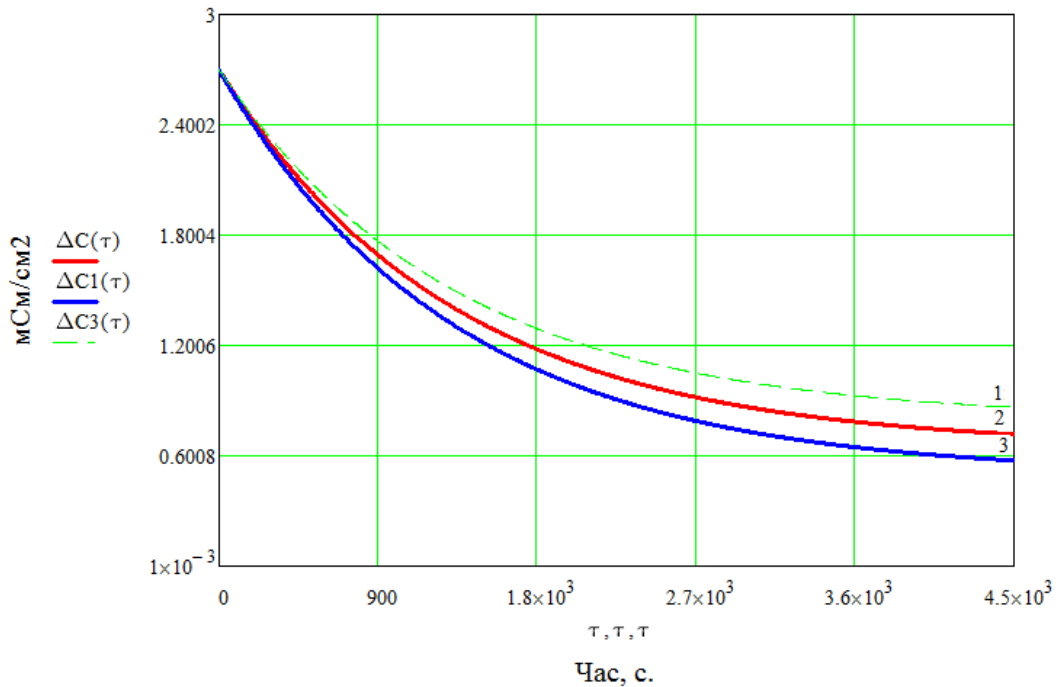


Рис. 2.5. Графіки зміни концентрації розчину на вході при інтенсивності сонячного випромінювання

(1 – $\Delta C(\tau) = 10$ кЛюкс, 2 – $\Delta C1(\tau) = 15$ кЛюкс, 3 – $\Delta C2(\tau) = 20$ кЛюкс)

2.3. Аналіз статичних та динамічних характеристик. Визначення передатної функції об'єкта керування

Живильний розчин як сукупність всіх важливих добрив – важливий елемент забезпечення нормального існування та продуктивності рослин в тепличному господарстві в умовах виробництва на промисловій основі.

Електропровідність (ЕС) поживного розчину контролюється щоденно. Залежить від температури розчину. Вимірюється в мСм/см. З підвищенням ЕС зростає концентрація розчину, що впливає на ступінь доступності поживних речовин для рослини, якість плодів і величину урожаю. Підвищення ЕС до 6 мСм/см знижує врожай помідора на 10% в розрахунку на одиницю ЕС. Оптимальним рівнем ЕС є:

- початок росту і розвитку – 2,7– 2,9 (мСм/см);
- у період першого збирання – 2,5– 2,8(мСм/см);
- у кінці плодоношення – 2,2– 2,7(мСм/см).

Кислотність розчину (рН). Визначає розчинність поживних елементів і, відповідно, доступність їх для рослини. Оптимальний рівень рН для помідора 5,5– 6 (моль/л). Зниження його погіршує ріст і розвиток рослини, а збільшення – погіршує доступність фосфору та води для рослин. Деяке підвищення рН (до 7 (моль/л)) сприяє розвитку кореневої системи.

Слід підкреслити, що:

- стартова схема – до висадки на постійне місце і до цвітіння першої китиці (ЕС 2,7 мСм/см, рН – 5,5);
- вегетативна схема застосовується до цвітіння 5-ої китиці (ЕС 2,7 мСм/см, рН – 5,5);
- генеративна схема – після цвітіння 5-ої китиці (ЕС 2,7 мСм/см, рН – 5,4).

По каналу регулювання електропровідності живильного розчину, являє собою інерційну ланку першого порядку і ланкою чистого запізнення :

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0 s + 1} e^{-s\tau_0} \quad (2.41)$$

Для визначення чисельних значень передатної функції побудуємо нормовану розгінну характеристику. Для цього через кожні 50 с вимірювали електропровідність з 0 до 3 мСм/см (табл.2.1).

Таблиця 2.1.

Вихідні дані для визначення розгінної характеристики ОК

t, хв	0	3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
U, мСм/см.	0	0	0,38	0,71	0,94	1,18	1,39	1,59	1,73	1,84	1,97	2,04	2,17	2,22
t, хв	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1300	1400
U, мСм/см.	2,3	2,35	2,41	2,44	2,48	2,52	2,54	2,58	2,6	2,61	2,62	2,65	2,65	2,66
t, хв	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000		
U, мСм/см.	2,68 5	2,69	2,695	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7		

На основі даних табл. 2.1 отримуємо розгінну нормовану характеристику за формулою:

$$U = \frac{U_i - U_0}{U_{уст} - U_0}. \quad (2.42)$$

U_i – поточне значення; $U_{уст}$ – установлене значення; U_0 – початкове значення.

Для даного випадку $U_0 = 0, U_{уст} = 2,7$.

Результати заносимо до табл.2.2 і зобразимо його на рис.2.6.

Дані для розгінної нормованої характеристики

t, хв	0	3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
U, мСм/см.	0	0	0,14	0,26	0,35	0,44	0,51	0,59	0,64	0,68	0,73	0,76	0,80	0,82
t, хв	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1300	1400
U, мСм/см.	0,8 5	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99
t, хв	145 0	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000		
U, мСм/см.	0,9 9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		

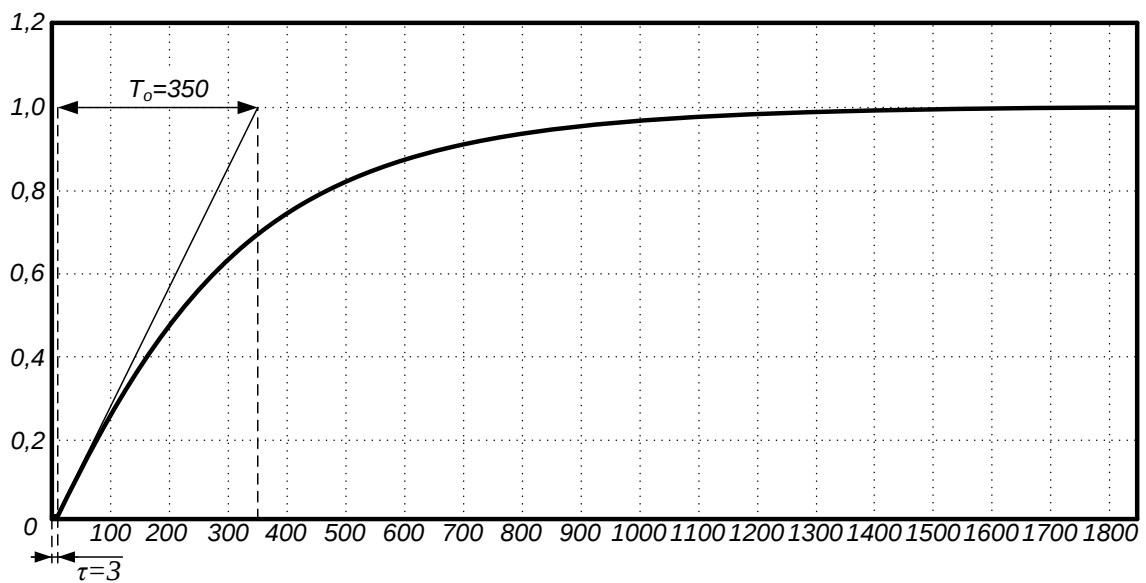


Рис. 2.6. Розгінна нормована характеристика об'єкта керування

Побудувавши дотичну до розгінної нормованої характеристики ми знайшли:

$$T_o = 350\text{с}, \tau = 3\text{с}.$$

Коефіцієнт передачі об'єкта знайдемо по загальновідомій формулі:

$$k = \frac{\Delta y(\infty)}{\Delta x}; \quad (2.43)$$

$$\Delta y(\infty) = 0 - 2,7 = 2,7^\circ\text{C};$$

$$\Delta x = 3;$$

$$\text{Отже: } k = \frac{2,7}{3} = 0.9;$$

Передатна функція має наступний вигляд:

$$W_{ov}(s) = \frac{0.9}{350s + 1} e^{-s3}.$$

2.4. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування концентрацією живильного розчину

Живильний розчин при гідропонній культурі подається шляхом поверхневого зволоження або підтоплення (рис. 2.7). Більш досконалим є автоматичний краплинний полив, застосовуваний в гідропонних теплицях. У таких теплицях в якості субстрату використовується інертний матеріал гродан (мінеральна вата), що укладається на звичайну поліетиленову плівку на рівній поверхні ґрунту в теплиці. Через систему поліхлорвінілових труб до кожної рослини підведена капілярна трубочка (крапельниця) для одночасного зрошення та підживлення рослин. Комп'ютер регулює концентрацію, кислотність, час і кількість подачі живильного розчину.

Цей метод зволоження має безсумнівні переваги перед іншими, так як може забезпечити дуже точне і рівномірний розподіл малої кількості розчину на площі без зволоження вегетативної маси рослин і повітря теплиць.

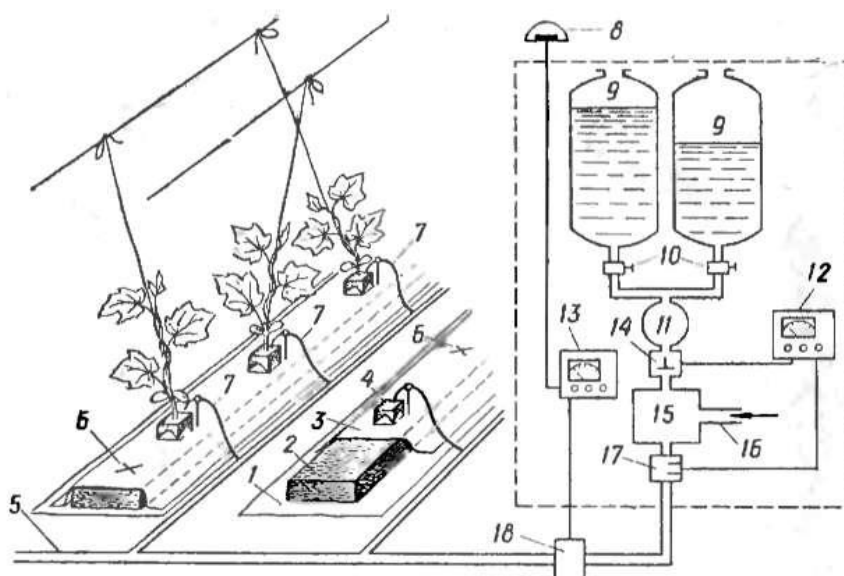


Рис. 2.7. Схема автоматичного керування
концентрацією живильного розчину

1 – підстилаюча плівка; 2 – пласт з гродана; 3 – покривна світлопроникна і світло– відбивна плівка; 4 – живильний розсадний кубик з гродана; 5 – пластмасовий поливний трубопровід; 6 – хрестоподібний розріз в покривній плівці для установки розсадного кубика; 7 – крапельниця; 8 – датчик приходу сонячної радіації; 9 – ємності з концентрованими розчинами мінеральних добрив; 10 – вентиль; 11 – помпа; 12 – регулюючий концентрометр; 13 – інтегратор сонячної радіації; 14 – регулюючий клапан подачі добрив; 15 – змішуюча камера; 16 – магістральний водопровід; 17 – датчик концентрату; 18 – регулятор витрат поливної води.

На рис. 2.8 наведена функціональна схема автоматизації системи керування концентрацією живильного розчину, яка складається з таких підсистем:

- автоматична система керування подачею живильного розчину із змішуючого резервуара до лотків з рослинами;
- система автоматичного вимикання приводу подачі води при зміні рівня живильного розчину нижче або вище заданого рівня;
- система обліку витрат розчину;
- система захисту та контролю втрат живлення у мережі;
- система сигналізації.

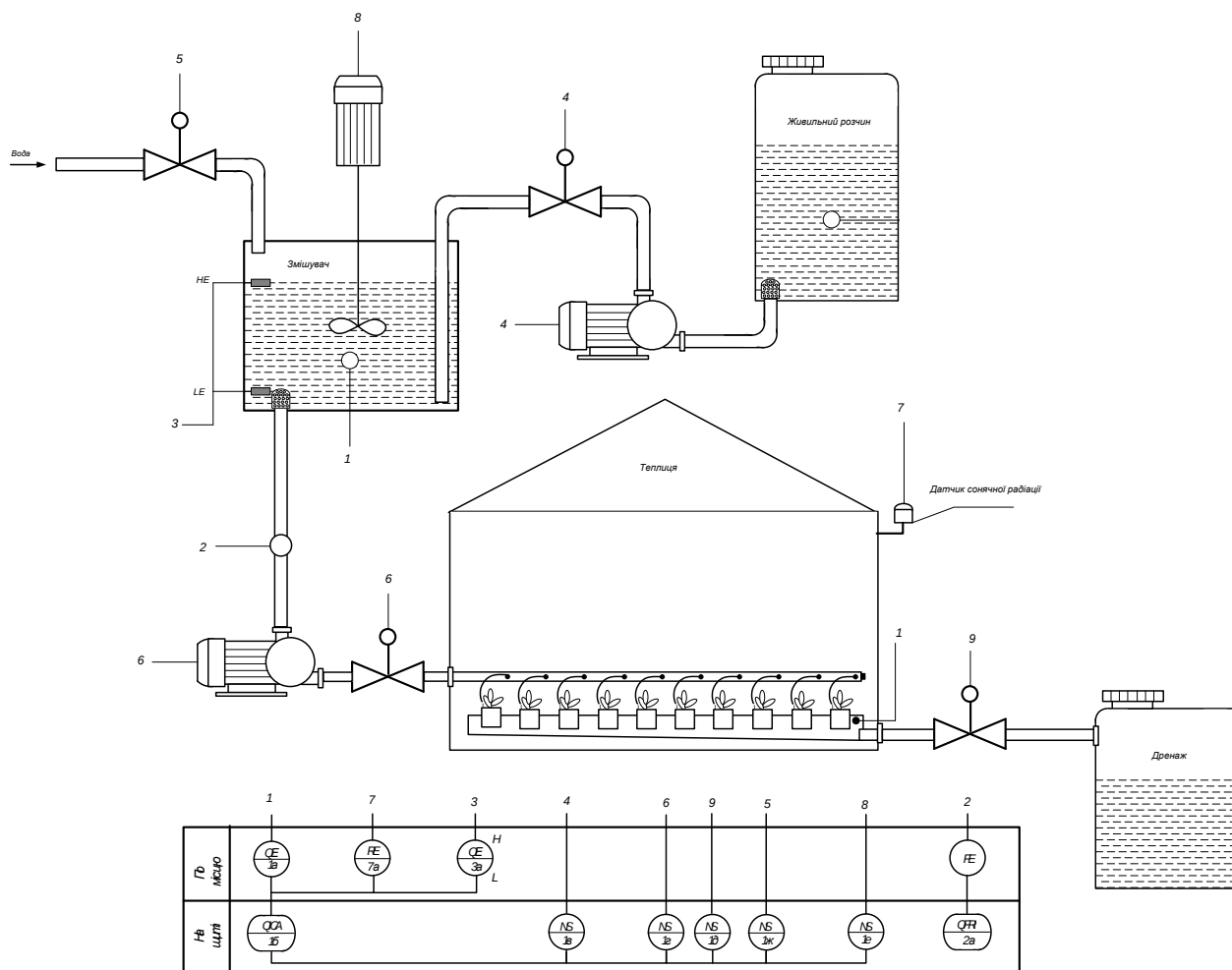


Рис. 2.8. Функціональна схема автоматизації системи керування концентрацією живильного розчину

Система керування працює наступним чином. Сигнали від датчиків електропровідності 1, датчиків рівня живильного розчину 3 та від датчика сонячної радіації 7 надходять до керуючого пристрою. В залежності від цих сигналів у змішувальну ємність подається вода (подача регулюється регулюючим клапаном 5) та суміш мінеральних добрив (регулюється насосом та регулюючим клапаном 4) та вмикається електродвигун приводу мішалки 8. Концентрація добрив контролюється датчиком електропровідності живильного розчину. Готовий живильний розчин подається за допомогою системи трубопроводів та краплинного поливу до кореневої системи рослин у субстраті, а відпрацьований живильний розчин відводиться за допомогою дренажної системи (регулюючий клапан 9).

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Вибір алгоритму керування

Динамічні властивості об'єктів керування дають змогу визначити на стадії проектування алгоритм управління. Для цього проаналізуємо співвідношення між сталою часу та часом запізнення об'єкта керування [15]:

- якщо $0,2 < \frac{\tau}{T} < 1$ – то можливо обрати лінійний закон регулювання;
- якщо $\frac{\tau}{T} < 0,2$ – то можливо обрати позиційний закон регулювання;
- якщо $\frac{\tau}{T} > 1$ – імпульсний алгоритм керування.

Для досліджуваного об'єкту за каналом керування концентрацією живильного розчину:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{3}{350} = 0,0086 \quad (3.1)$$

Оскільки САК концентрацією живильного розчину потребує високої точності, високої швидкості регулювання та відсутності перерегулювання, обираємо ПД алгоритм керування.

Визначення алгоритму керування здійснюється за динамічним коефіцієнтом регулювання.

1. Визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання R_D .

Так як об'єкт статичний, отримаємо

$$R_D = \frac{y_1}{K_0 \cdot y_{max}} = \frac{4}{0,9 \cdot 50} = 0,088. \quad (3.2)$$

де y_1 - максимальне динамічне відхилення; K_0 - коефіцієнт передачі об'єкта керування; y_{max} - максимально можливе значення збурення по навантаженням (береться у відсотках переміщення регульовального органа).

Об'єкт має аперіодичний перехідний процес.

2. За графічними залежностями (рис. 3.1) [15] обираємо алгоритм керування:

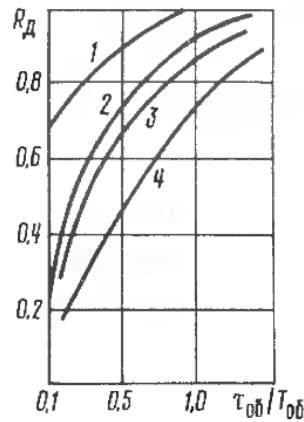


Рис. 3.1. Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей об'єкта керування для типового аперіодичного перехідного процесу

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

Для даного об'єкта обираємо ПІД алгоритм керування.

3. Перевіряємо, чи забезпечить даний алгоритм керування заданий час регулювання [15]:

$$t = \psi \tau, \quad (3.3)$$

де ψ – відносний час регулювання.

Для ПІД закону регулювання $\psi = 5,5$, тоді $\psi = 5,5 \times 3 = 16,5$ с.

Видно, що $16,5 \text{ с} < 350 \text{ с}$, то ПІД закон регулювання здатний забезпечити заданий час регулювання.

3.2. Вибір промислового регулятора

Для нашої системи обираємо універсальний двоканальний програмний ПІД-регулятор ОВЕН ТРМ151-03. Загальний вигляд регулятора зображено на рис. 3.2.

Універсальний двоканальний програмний ПІД-регулятор ОВЕН ТРМ151 застосовується для створення систем керування різного рівня складності - від контурів локального керування до комплексних систем керування об'єктами з інтеграцією в АСУ.



Рис. 3.2. Регулятор ТРМ151-03

Функціональні можливості приладу ОВЕН ТРМ151-03

- Один або два канали програмного покрокового регулювання
- Два вбудованих універсальних входи і два виходи
- Програмне керування різними виконавчими механізмами:
 - 2-х позиційними (Тени, двигуни);
 - 3-х позиційними (засувки, крани);
 - Додатковими пристроями (заслінки, жалюзі, димо-або парогенератори і т.п.).

- Автонастройка під-регуляторів з сучасним ефективним алгоритмом
- Режим ручного керування вихідною потужністю регулятора
- Лінійка стандартних модифікацій для найбільш поширених технологічних процесів
- Широкі можливості конфігурації з ЕОМ або з передньої панелі приладу:
 - Різні рівні доступу для оператора, технолога і наладчика системи;
 - Для кожної стандартної модифікації приладу - свій зручний організований набір параметрів
- Програми швидкий старт, розроблені спеціально для кожної модифікації
- Можливість швидкого доступу до уставки при програмуванні приладу з передньої панелі.

Функціональна схема ТРМ-151-03 приведена на рис. 3.3.

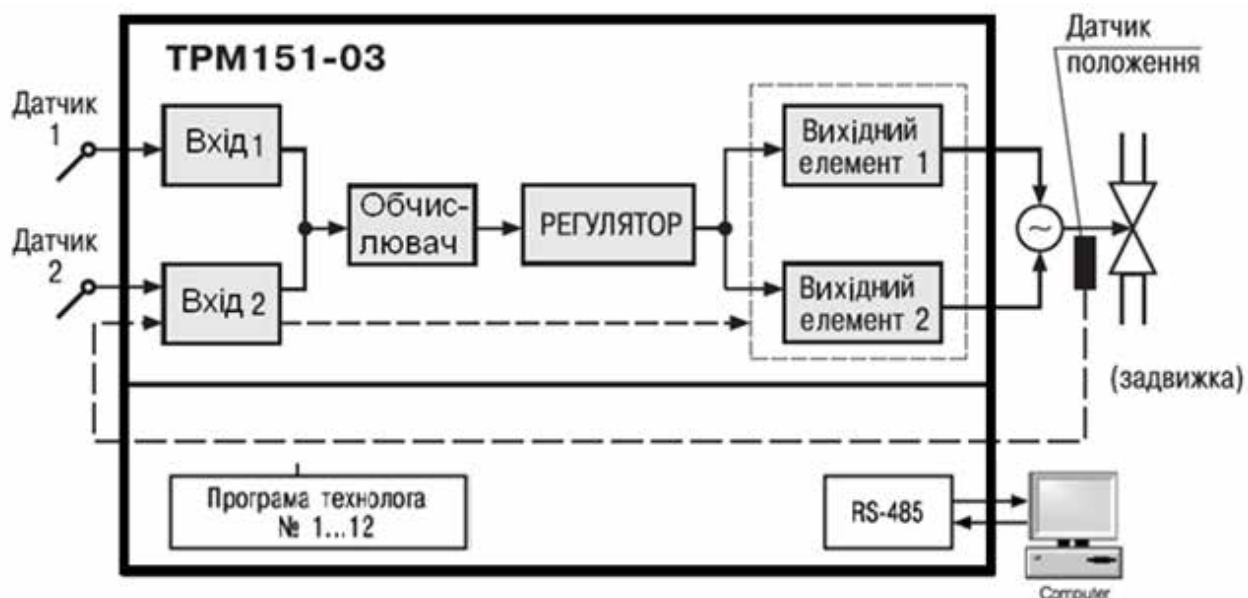


Рис. 3.3. Функціональна схема ТРМ-151-03

Прилад ТРМ151-03 виконує такі основні функції:

- вимірювання однієї або двох фізичних величин, контрольованих вхідними первинними перетворювачами;
- цифрову фільтрацію для зменшення впливу промислових імпульсних

перешкод на результат вимірювання;

- корекцію виміряних величин для усунення похибок первинних перетворювачів;

- відображення результатів вимірювань або обчислень на вбудованому світлодіодному цифровому індикаторі;

- регулювання однієї виміряної фізичної величини за ПД-законом;

- зміна уставки регульованої величини за заданою технологічної програми, а також як функції іншої величини;

- формування аварійного сигналу при виявленні несправності первинних перетворювачів з відображенням його причини на цифровому індикаторі;

- формування аварійного сигналу при виході регульованої величини за допустимі межі;

- відображення на вбудованому світлодіодному цифровому індикаторі поточних значень параметрів технологічної програми та потужності, що подається на виконавчий механізм;

- формування команди ручного керування виконавчим механізмом з клавіатури приладу;

- передачу в мережу RS-485 поточних значень виміряних або обчислених величин, а також вихідної потужності регулятора і параметрів програми технолога;

- зміна значень програмованих параметрів приладу за допомогою клавіатури керування на його лицьовій панелі;

- зміна значень параметрів за допомогою комп'ютерної програми-конфігуратора при зв'язку з комп'ютером по RS-485;

- збереження заданих програмованих параметрів в енергонезалежній пам'яті при відключенні напруги живлення TPM151-03.

- режим ручного керування вихідними пристроями.

- конфігурація функціональної схеми і установка параметрів:

- кнопками на лицьовій панелі приладу;

- на ПК за допомогою програми-конфігуратора.

Інтерфейс зв'язку з ЕОМ

Прилад має вбудований двонаправлений інтерфейс RS-485 для передачі даних і прийому інформації від комп'ютера і інших приладів, оснащених таким же інтерфейсом зв'язку.

Через цей інтерфейс прилад може передавати поточне значення вимірних величин і приймати команди на зміну установки. Крім того, за допомогою спеціального програмного забезпечення ОВЕН може бути змінена конфігурація приладу.

3.3. Обґрунтування та вибір сприймаючого елементу, регулюючого органу і виконавчого механізму. Визначення їх передатних функцій

Вибір сприймаючого елементу. До датчиків як правило, ставлять наступні вимоги :

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима нелінійність не повинна перевищувати 0,1...3%);
- високу чутливість;
- стабільність характеристик у часі;
- швидкодія;
- стійкість до хімічних впливів контролюючого і навколишнього середовища (первинні перетворювачі, розміщені у захисній оболонці);
- мінімальний зворотній вплив на контролюючий параметр;
- зручність монтажу і обслуговування.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають як правило в два етапи:

- на першому етапі за типом контролюваного параметра об'єкта керування й умовами його роботи визначається різновид перетворювача;
- на другому етапі після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

Датчик рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини X і були як найближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності датчика і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою керування регулятора.

При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії, чи інерційності вимірювального перетворювача, яка характеризується його постійною часу T .

Так, при обґрунтуванні вибору датчика електропровідності для живильного розчину в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни електропровідності відповідно до технічних умов повинна забезпечити спроектована система регулювання.

Діапазон регулювання електропровідності живильного розчину в теплиці складає $(2,0...2,7)$ мСм/см. Для цього діапазону можна вибрати межі вимірювання датчика електропровідності Indumax CLS50 (див. табл. 3.1), які складають $(0,2...200)$ мСм/см. Інерційність цього перетворювача складає 20 с. Для того, щоб цей перетворювач у процесі вимірювання електропровідності живильного розчину на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання температури, його постійна часу $T_{\text{се}}$ повинна бути не менше, ніж на порядок меншою від постійної часу об'єкта $T_{\text{ок}}$. Постійна часу теплиці $T_{\text{ок}}$, складає 350с. З огляду на сказане вище, максимальна постійна часу вимірювального перетворювача, при якій можна знехтувати його інерційністю, повинна бути не більше $T_{\text{ок}}/10 = 35\text{с}$, а постійна часу вибраного датчика електропровідності Indumax CLS50 рівна 20 с.

Вибраний нами датчик електропровідності Indumax CLS50 має зовнішній вигляд (рис. 3.4) і статичну характеристику (рис. 3.5).

Характеристика датчика Indumax CLS50

Параметр	Indumax CLS50
Діапазон вимірюваних питомої електропровідності, См/м	0,2–200
Діапазон вихідного сигналу, мА	від 0,01 до 2,0
Межі основної зведеної похибки вимірювання в нормальних умовах, %	$\pm 1,0$
Межі додаткової зведеної похибки вимірювання, обумовленої відхиленням температур у всьому робочому діапазоні температур, %	$\pm 0,25$
Діапазон вимірювання температури рідини, °C	0–100 ¹⁾
Робоча напруга живлення постійного струму, В	от 7 до 12
Споживана потужність, Вт, не більше	1,8
Діапазон робочих температур навколишнього середовища, °C:	–40 ... +50
Гідростатичний тиск, атм., не більше	2
Середній час напрацювання на відмову, ч	16000
Тип вихідного сигналу	аналоговий
Ступінь захисту:	IP65
Габаритні розміри (довж. \ шир. \ вис.), мм, не більше	60×60×300
Маса, кг, не більше	2,0
Режим роботи	Постійний



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд датчик електропровідності Indumax CLS50

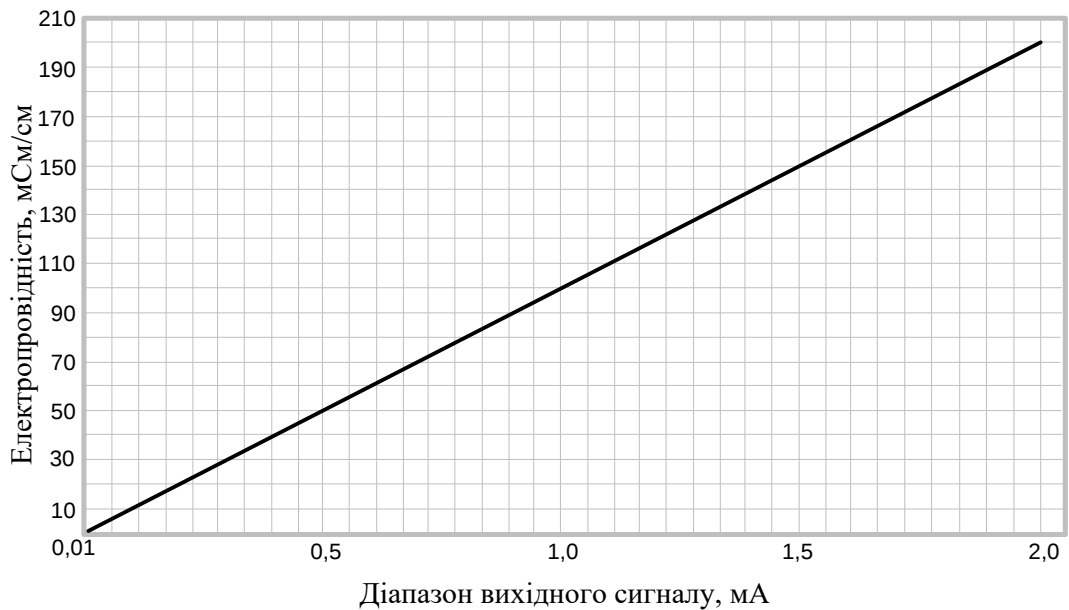


Рис. 3.5. Статична характеристика датчика Indumax CLS50

За динамічними властивостями датчик електропровідності є пропорційною ланкою, передатна функція якої має вигляд:

$$W(s) = k. \quad (3.4)$$

Залежність електропровідності від діапазону вихідного сигналу – лінійна. Коефіцієнт передачі k визначаємо наступним чином з графіка статичної характеристики, а саме за формулою:

$$k = \frac{\Delta B_{\text{код}}}{\Delta \Omega}. \quad (3.5)$$

Приклад монтажу датчика Indumax CLS50 зображено на рис. 3.6.

$$k = \frac{\Delta B_{\text{код}}}{\Delta \Omega} = \frac{2 - 0,01}{200 - 0,2} = 0,01.$$

Отже, передатна функція датчика електропровідності має такий вигляд:

$$W(s) = 0,01.$$

При монтажі слід орієнтувати отвір датчика по напрямку потоку середовища. Головка датчика повинна бути повністю занурена у вимірюване середовище.

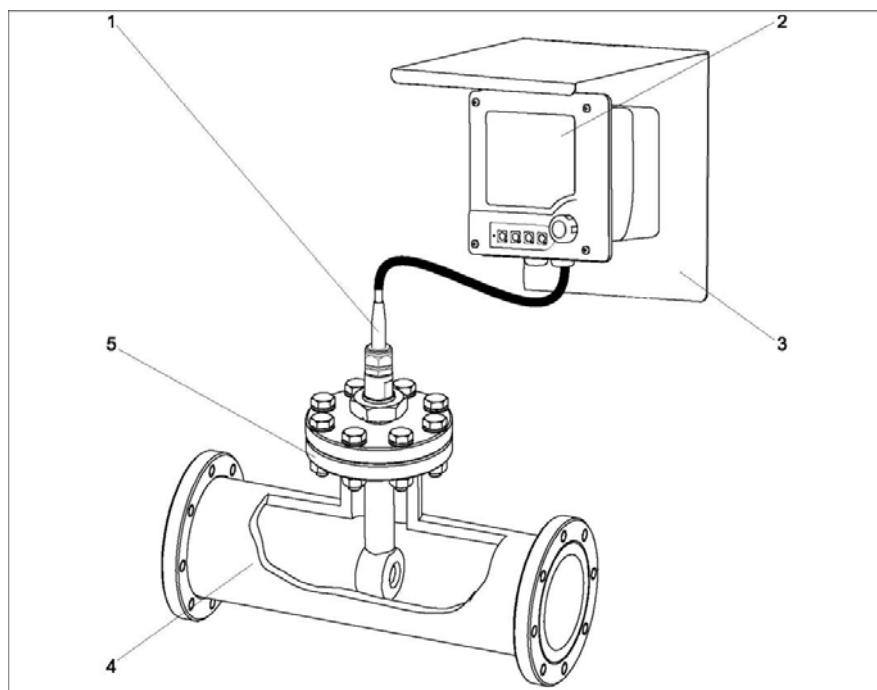


Рис. 3.6. Приклад вимірювальної системи: 1– Indumax CLS50, 2 – коректуючий пристрій, 3 – захисний козирок, 4 – трубопровід, 5 – муфта

Вибір регулюючого органу. Регулюючі клапани є найбільш часто використовуваними елементами, цілеспрямовано впливають на виробничі процеси та керування ними. Клапани є проміжною ланкою між електронними технологіями керування та керованим (робочим) середовищем. Вони, регулюючи параметри робочого середовища, контролюють безперервне протікання виробничого процесу і пов'язують між собою його окремі фази. Інші регулюючі клапани, що використовуються, наприклад в нагрівально – охолоджувальних контурах, не так суттєво впливають на процес.

Промислові регулюючі клапани, з одного боку, є учасниками цифрового обміну даними про протікання технологічного процесу, а з іншого, – самі здійснюють промисловий процес. За часів цифрових технологій і моделювання засобів керування робочим процесом, регулюючі клапани, з точки зору технологій контролю, недостатньо висвітлені. По суті, ми маємо справу з частиною трубопроводу, що впливає на хід всього технологічного процесу. Перепад тиску в клапані є необхідною умовою здійснення його функції

керування і виявляється як втрата енергії в енергетичному балансі виробничого процесу. (рис. 3.7) показано основні деталі сучасного регулюючого клапана.



Рис. 3.7. Основні частини регулюючого клапана

При розробці регулюючого клапана, незалежно від його призначення, необхідно взяти до уваги чотири аспекти:

- технічна відповідність регулюючого клапана робочим характеристикам і вимогами,
- відповідність вимогам безпеки під час нормальної роботи і в аварійних ситуаціях,
- концепція керування процесом, не суперечить принципам роботи приводу,
- концепція керування процесом, орієнтована на приведення в дію від сигналу зворотного зв'язку.

Регулюючі органи (РО) служать для керування підведенням (відводом) речовини або енергії в об'єкти регулювання з метою зміни регульованого параметра. По роду речовини, що протікає, або енергії РО ділять на пневматичні, гідравлічні й електричні.

При розрахунку регулюючого органу використовують схему, яка подана на рис. 3.8.

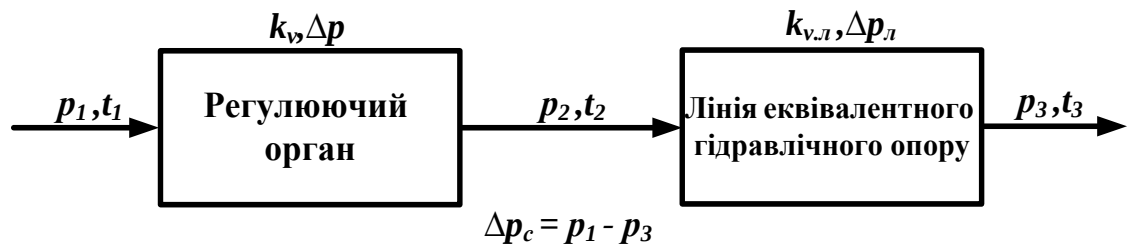


Рисунок 3.8. Розрахункова схема при розрахунку регулюючого органу

При розрахунку регулюючого органу необхідно визначити:

- максимальну пропускну здатність K_{max} регулюючого органу і його умовний діаметр D_y ;
- робочу ділянку витратної характеристики (для клапанів);
- робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску для рідини (для пари і газу знаходять тільки максимальний і мінімальний перепад тиску).

Для визначання максимальної пропускну здатності РО використовуємо такий вираз:

$$K_{V_{max}} = \frac{Q_{max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_1}{\Delta P \cdot P_2}}, \quad (3.6)$$

де γ – об'ємна маса газу; $\Delta P = P_1 - P_2$ перепад тиску на РО; P_2 – тиск після регулюючого органу; Q_{max} – максимальна об'ємна витрата рідини; T_1 – температура середовища перед регулюючим органом.

Слід відмітити, що якщо регулюють потоки в'язких рідин з індексом в'язкості $Z \leq 1000$, необхідно вводити поправку на густину, якщо $Z > 1000$ - поправку на густину не вводимо.

При цьому індекс в'язкості обраховуємо за формулою:

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{v \cdot \sqrt{K_{V_{max}}}} \quad (3.7)$$

де v – в'язкість живильного розчину.

При виборі регулюючого органу у вигляді клапана за наступними параметрами треба перевірити співвідношення:

$$K_{V_{PO}} \geq 1.2 K_{V_{max}}$$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу, тобто хід плунжера. Для цього скористуємося формулами (3.8) та (3.9) і визначимо пропускну здатність лінії та відношення пропускних здатностей регулюючого органу і лінії:

$$K_{V_L} = \frac{Q_{max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_2}{\Delta P_L \cdot P_3}}, \quad (3.8)$$

де $\Delta P_L = P_2 - P_3$ – перепади тиску на лінії; P_3 – тиск після лінії; T_2 – температура після РО.

$$n = \frac{K_{V_{PO}}}{K_{V_L}} \quad (3.9)$$

де $K_{V_{PO}}$ – пропускна спроможність клапана.

Визначаємо перепад тиску на регулюючому органі:

$$\Delta P_{po} = \frac{\Delta P_c}{1+n^2} \quad (3.10)$$

де $\Delta P_c = P_1 - P_3$ – перепад тисків у системі.

Витрати регулюючого середовища через РО можна обрахувати за виразом:

$$Q_{po} = K_{V_{PO}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{po}}} \quad (3.11)$$

Залежність у робочих умовах відносної витрати μ середовища від ступеня відкриття регулювального органу ($\mu=3,5$ – при відкритому РО $\mu=3,6$ – при закритому):

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{po}} \quad (3.12)$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{po}} \quad (3.13)$$

При виборі регулювального органу в першу чергу необхідно оцінити його витратну характеристику, яка для більшості автоматичних систем повинна бути лінійною й однозначною (рис. 3.9).

Ця вимога визначається тим, що тангенс кута нахилу дотичній до витратної характеристики дорівнює коефіцієнту передачі регулювального органа.

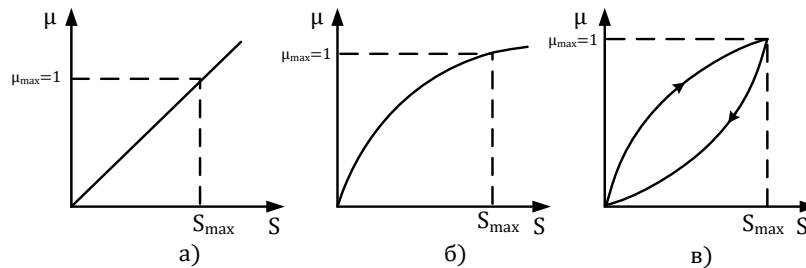


Рис. 3.9. Витратні характеристики регулюючого органу:

а – лінійна (бажана); б – нелінійна; в – нелінійна з гістерезисом

Дані для розрахунку клапана:

Тиск перед регулюючим органом $P_1 = 4 \text{ кг/см}^2$;

Тиск після регулюючого органу $P_2 = 3 \text{ кг/см}^2$;

Тиск після лінії $P_3 = 2,5 \text{ кг/см}^2$;

Температура перед і після регулюючого органу $t_1 = t_2 = 23^\circ\text{C}$;

Об'ємна витрата рідини $Q_{\max} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$;

Об'ємна витрата рідини $Q_{\min} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$;

В'язкість живильного розчину (стандарт AGA8) $\nu = 0,1472$

Порядок розрахунку параметрів регулюючого органу наступний:

1. Визначаємо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{V_{\max}} = \frac{Q_{\max}}{514} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_1}{\Delta P \cdot P_2}} = \frac{100}{514} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 253}{1 \cdot 3}} = 0,1945 \cdot 183,67 = 35,733 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 4 - 3 = 1 \text{ кг/см}^2;$$

$$T_1 = T_2 = 273 - t_1 = 273 - 23 = 250 \text{ К};$$

2. Визначаємо індекс в'язкості :

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{\max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{V_{\max}}}} = \frac{420 \cdot 100}{0,1472 \cdot \sqrt{35,733}} = 50186,82 > 1000$$

3. Обираємо регулюючий орган у вигляді клапана за наступними параметрами :

$$K_{V_{PO}} = 60 \text{ м}^3/\text{год} \text{ і } D_Y = 50 \text{ мм.}$$

Перевіряємо виконання умови :

$$K_{V_{PO}} \geq 1.2 K_{V_{max}}$$

$$60 \text{ м}^3/\text{год} > 35,733 \cdot 1,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$60 \text{ м}^3/\text{год} > 42,723 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Знаходимо пропускну здатність лінії:

$$K_{V_L} = \frac{Q_{max}}{51,4} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_H \cdot T_2}{\Delta P_L \cdot P_3}} = \frac{100}{51,4} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 253}{0,5 \cdot 2,5}} = 1,945 \cdot 28,453 = 55,34 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\Delta P_L = P_2 - P_3 = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ кг/см}^2;$$

5. Визначаємо відношення пропусчних здатностей РО на лінії:

$$n = \frac{K_{V_{PO}}}{K_{V_L}} \frac{60}{55,34} = 1,084$$

6. Визначаємо перепад тиску на регулюючому органі

$$\Delta P_{po} = \frac{\Delta P_c}{1 + n^2} = \frac{1,5}{1 + 1,084^2} = 0,689 \text{ кг / см}^2$$

$$\Delta P_c = P_1 - P_3 = 4 - 2,5 = 1,5 \text{ кг/см}^2;$$

7. Витрати регулюючого середовища через РО:

$$Q_{po} = K_{V_{PO}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{po}}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{4}{0,689}} = 144,56 \text{ м}^3/\text{год}$$

8. Відносні витрати регулюючого середовища через РО:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{po}} = \frac{100}{144,56} = 0.691$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{po}} = \frac{50}{144,56} = 0.345$$

Для даного проекту і розрахунків я обрав клапан фірми «АрмаВент» модель «25ч940иж».

Клапан 25ч940нж (рис. 3.10) – регулюючий двосідловий фланцевий клапан з двигуном, призначений для використання на центральних і індивідуальних пунктах, котельних системах тепличних господарств для автоматичного регулювання технологічних процесів. Удосконалення плунжера в клапані 25ч940нж при наявності двох сідел забезпечує стабільну і надійну роботу при регулюванні потоку середовища. Клапан 25ч940нж має рівнопроцентну характеристику.

Таблиця 3.2

Матеріали основних деталей клапана 25ч940нж

Назва деталі	Марка деталі
Корпус, кришка	СЧ20 ДСТУ – 1412
Плунжер, сідло	Сталь 20Х13 ДСТУ – 5632
Ущільнення в затворі	Метал по металу
Ущільнення сальників	Графлекс

Технічні характеристики клапана 25ч940нж для керування концентрацією живильного розчину в теплиці наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики клапана 25ч940нж

Номінальний діаметр, мм	50
Номінальний тиск, МПа	5
Пропускна характеристика	рівнопроцентна
Робочий хід плунжера, мм	28
Умовна пропускна здатність $K_{V_{max}}$, м ³ /год	60
Допустимий перепад тиску, МПа $K_{V_{max}}$	2,0±0,1
Відносне протікання в затворі, % від	0,01 при макс. тиску
Робоче середовище	вода, пара, природний газ та інші середовища які нейтральні до деталей
Температура робочого середовища Т, °С	від -15 до +300

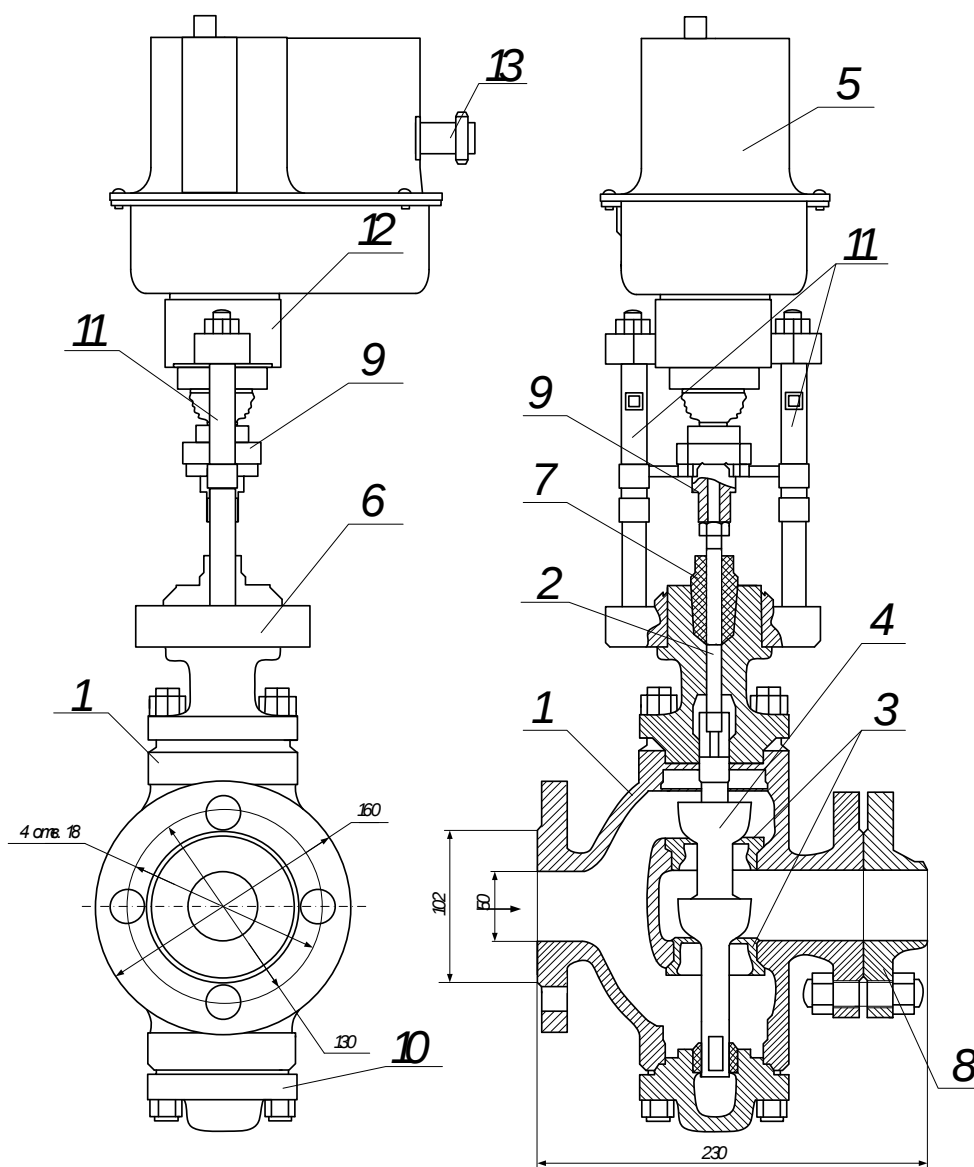


Рис. 3.10. Загальний вигляд клапана 25ч940нж

1 – корпус клапана; 2 – шток; 3 – ущільнюючі сидла; 4 – параболічний плунжер;
 5 – виконавчий механізм; 6 – кришка; 7 – ущільнюючий сальник; 8 – кріплення
 до лінії; 9 – направляюча втулка; 10 – нижня кришка клапана; 11 – монтажні
 опори; 12 – лінійний редуктор; 13 – клемний роз'єм

На рис. 3.11 показана витратна характеристика РО відносно ходу плунжера.

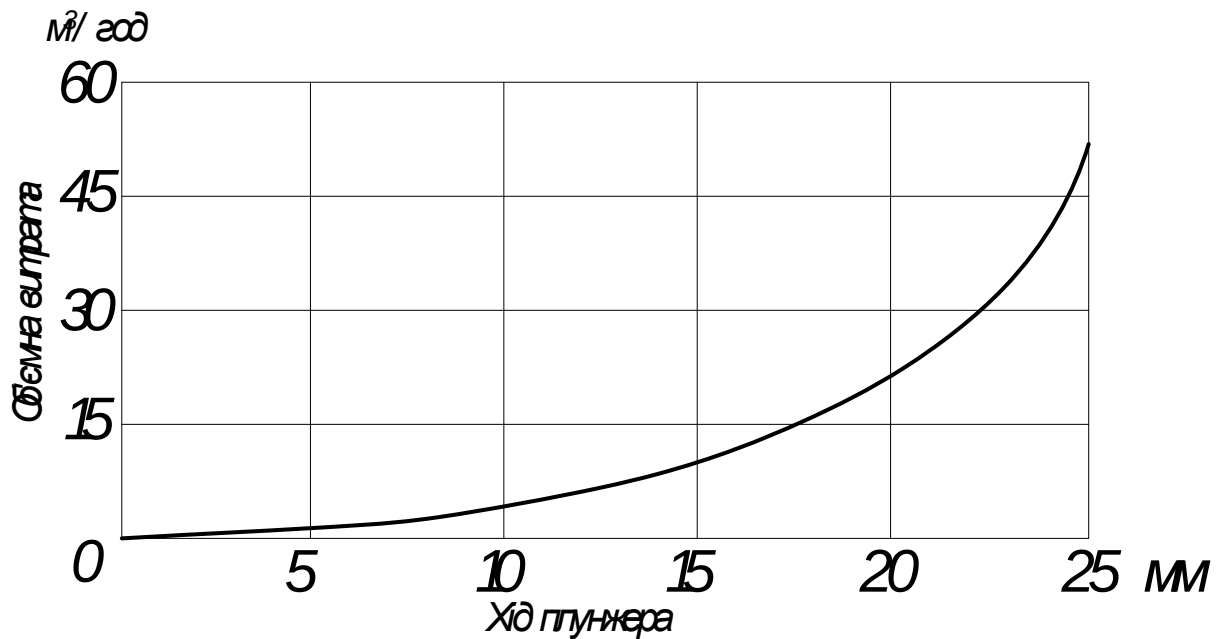


Рис. 3.11. Рівнопроцентна характеристика клапана

Вибір виконавчого механізму. Для вибору виконавчого механізму необхідно обрахувати залежність величини обертального моменту ВМ для переміщення плунжера РО, для цього можна скористатися формулою:

$$M_{BM} = 2 \cdot (M_p + M_M), \quad (3.14)$$

де M_p – реактивний момент, обумовлений намаганням потоку речовини закрити заслінку; M_M – момент опору в опорах.

Для визначення обертального моменту ВМ необхідно визначити реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M для цього скористаємося формулами:

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{po_{max}} \cdot D_y^3, \quad (3.15)$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{po_{min}} \cdot D_y^2 \cdot \lambda, \quad (3.16)$$

де $\Delta P_{po_{max}}$ – максимальний перепад тиску на РО; $\Delta P_{po_{min}}$ – мінімальний перепад тиску на РО; λ – коефіцієнт тертя в опорах РО; D_y – діаметр РО.

Момент обертання валу виконуючого механізму повинен бути не менший за момент, необхідний для відкриття заслінки. Скористаємося умовою:

$$M_H \geq M_{вм}. \quad (3.17)$$

Визначаємо реактивний момент M_p і момент опору в опорах M_M :

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{po_{max}} \cdot D_{y^3} = 0.07 \cdot (1.365 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 50)^3 = 0,119 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_M = 0.75 \cdot \Delta P_{po_{min}} \cdot D_{y^2} \cdot \lambda = 0.75 \cdot (1,23 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 50)^2 \cdot 0.15 = 3,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді момент виконавчого механізму буде дорівнювати:

$$M_{BM} = 2(0,119 + 3,35) = 6,97 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевіряємо задоволеність електроприводу :

$$M_n \geq M_{\text{вм}}$$

$$7,2 \geq 6,97 - \text{задовольняє вибраному}$$

Обираємо електричний виконавчий механізм «Regada ST 0.1» (рис. 3.12), в якому: $T_{\text{вм}} = 10 \text{ с}$.

Отже, передатна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W_{\text{СП}}(s) = \frac{K_{\text{ВМ}}}{10s} = \frac{1}{10s} \quad (3.18)$$



Рис. 3.12. Виконавчий механізм прямохідний «Regada ST 0.1»

Технічні характеристики сервоприводу «Regada ST 0.1»

Робочий хід, мм	30
Час повного закриття/відкриття, с	10
Зусилля на штокові, Н*м	7.2
Режим роботи	повторно-короткочасний
Напруга живлення	380 В, 50 Гц
Споживана потужність, Вт	15
Вага, кг	7,8
Умови експлуатації	
Навколишня температура, °С	-30..+60
Відносна волога, %	5..100
Ступінь захисту	IP65

Оскільки конструкційно у сервоприводі реалізований зворотний зв'язок за положенням (реостатний датчик положення), то остаточна передатна функція виконавчого механізму визначається як

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{СП}(s)}{1 + W_{СП}(s)} = \frac{\frac{1}{10s}}{1 + \frac{1}{10s}} = \frac{1}{10s + 1}$$

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ САК КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА СТІЙКІСТЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ

4.1. Визначення часу квантування

Згідно з теоремою Котельнікова для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2 \cdot \omega_c$, де ω_c – найвища частота вхідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c , рад/с, він повністю описується своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу з інтервалом

$$T_{\text{ц}} \leq \frac{\pi}{\omega_c} \quad (4.1)$$

При заданій точності відтворення сигналу можна вважати, що спектр сигналу

$$|W_{\text{з.нч}}(j \cdot \omega)| \leq \theta_{\text{зад}}, \quad (4.2)$$

де $|W_{\text{з.нч}}(j \cdot \omega)|$ – амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

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

Для подальших розрахунків та графічних побудов був використаний пакет імітаційного моделювання MATLAB.

Передатна функція розімкненої САК

$$W_{\text{POЗ}}(s) = W_{\text{БМ}}(s) \cdot W_{\text{ОУ}}(s) \cdot W_{\text{СЕ}}(s) \quad (4.3)$$

Передатна функція замкненої системи автоматичного керування

$$W_{\text{ЗАМ}}(s) = \frac{W_{\text{POЗ}}(s)}{1 + W_{\text{POЗ}}(s)}. \quad (4.4)$$

MATLAB Command Window

Передатна функція об'єкта керування

```
Wok =
      0.9
-----
    350 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

Передатна функція виконавчого механізму (регулюючого органу)

```
Wvm =
      1
-----
    10 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

Передатна функція сприймаючого елемента

```
Wce =
      0.1
```

Static gain.

Передатна функція розімкнутої неперервної частини системи керування

```
Wnc =
      0.99
-----
    3500 s^2 + 360 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

Передатна функція замкнутої неперервної частини системи керування

```
Wzam =
      3465 s^2 + 356.4 s + 0.99
-----
1.225e07 s^4 + 2.52e06 s^3 + 1.369e05 s^2 + 755.6 s + 1.099
```

Оскільки САК концентрацією живильного розчину повинна забезпечувати високу точність, приймемо, що необхідні точність на виході системи $\theta_{\text{зад}} = 0,01$ (1%).

Амплітудно-частотна характеристика замкненої САК

$$A_{\text{ЗАМ}}(\omega) = \sqrt{\text{Re}(W_{\text{ЗАМ}}(\omega)) + \text{Im}(W_{\text{ЗАМ}}(\omega))} \quad (4.5)$$

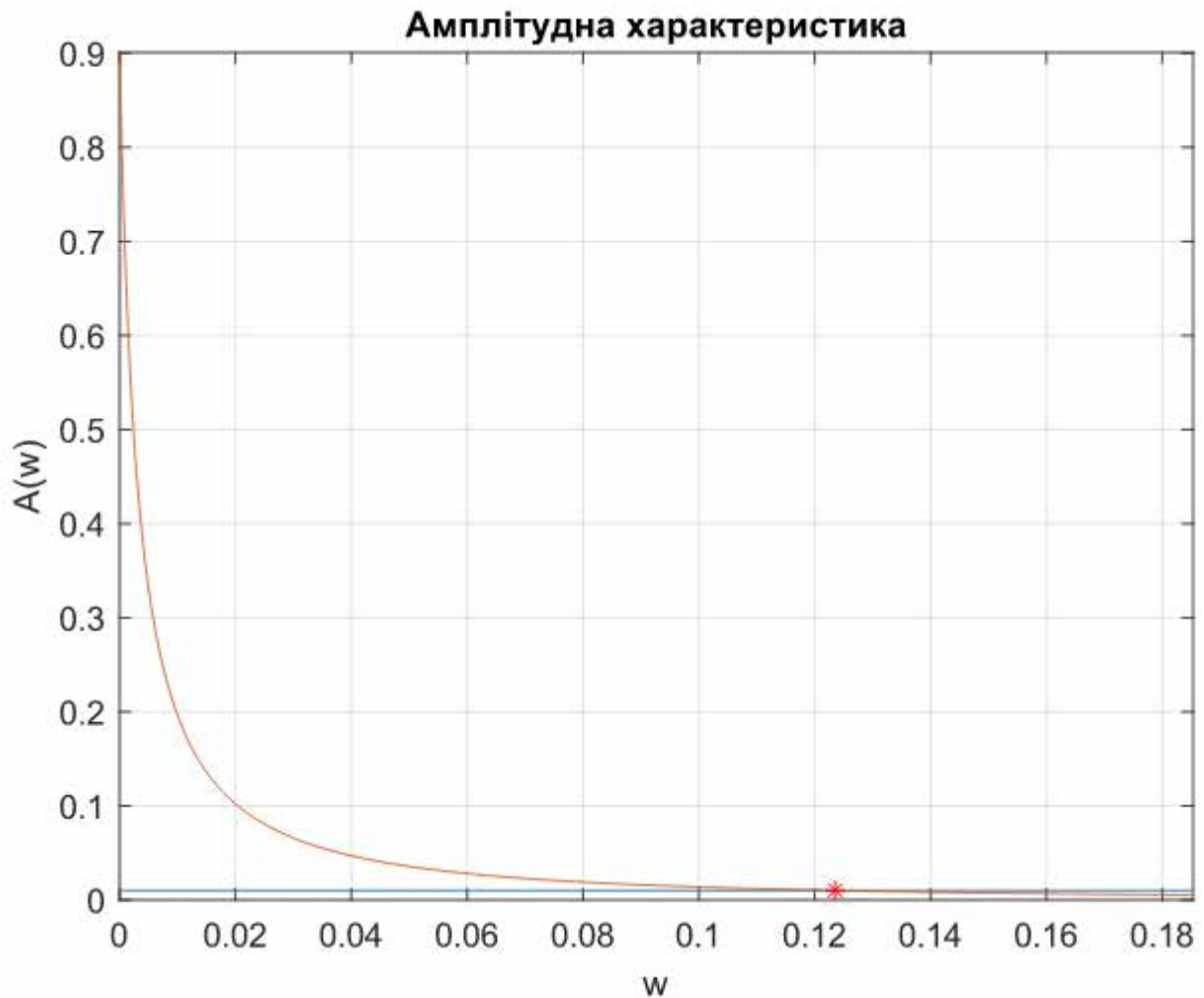


Рис. 4.1. Амплітудно-частотна характеристика замкненої САК

MATLAB Command Window

Розрахункова частота квантування

$\omega_c =$

0.1235

Розрахунковий період квантування

$T_k =$

25.4282

За отриманою АЧХ можна зробити висновок, що із заданою похибкою 1% сигнал не містить в собі частот вище, ніж $\omega_c = 0,1235$ 1/с, він повністю описується своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу з інтервалом $T_k \leq 25,4$ с.

4.2. Визначення показників якості САК

Визначення стійкості цифрової САК, визначення параметрів налагодження цифрового ПІД-регулятора та побудову перехідного процесу виконаємо за методикою курсу "Цифрові системи керування" [6].

MATLAB Command Window

Дискретна передатна функція розімкнutoї
неперервної частини системи керування

Wncz =

0.04459 z + 0.01933

z^2 - 1.009 z + 0.07313

Sample time: 25.428 seconds

Discrete-time transfer function.

Корені характеристичного рівняння

Zk =

0.9299

0.0786

Корені характеристичного рівняння

a1 =

360.0

Корені характеристичного рівняння

b1 =

0

Коефіцієнт помилки системи за швидкістю

C1 =

89.998

Коефіцієнт добротності системи за швидкістю

Kv =

0.011111391694725028058361391694725

Коефіцієнт інтегральної складової ПІД-регулятора

Ki =

0.011224

$$K_p = 3.9544$$

$$K_d = 8.2202$$

За допомогою критерію Джурі проведемо оцінку стійкості цифрової системи керування. Згідно цього критерію, усі корені характеристичного рівняння повинні знаходитися у колі одиничного радіусу на z-площині для дійсних коренів $|z_k| < 1$ (рис. 4.2).

Оскільки усі корені знаходяться у колі – цифрова система керування є стійкою.

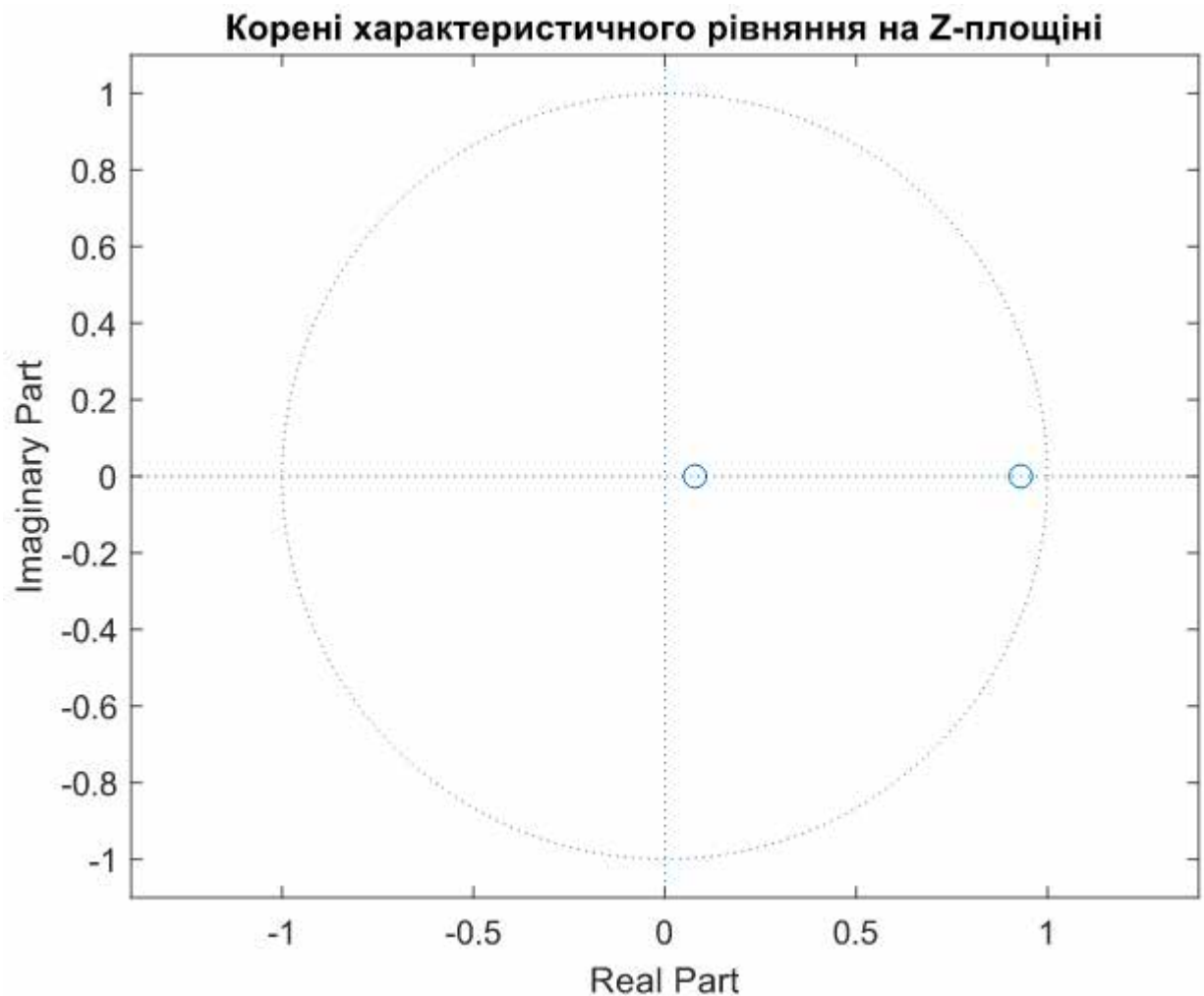


Рис. 4.2. Визначення стійкості цифрової системи керування за критерієм Джурі

Показники якості керування отримаємо, побудувавши перехідний процес системи у середовищі MATLAB (рис. 4.3).

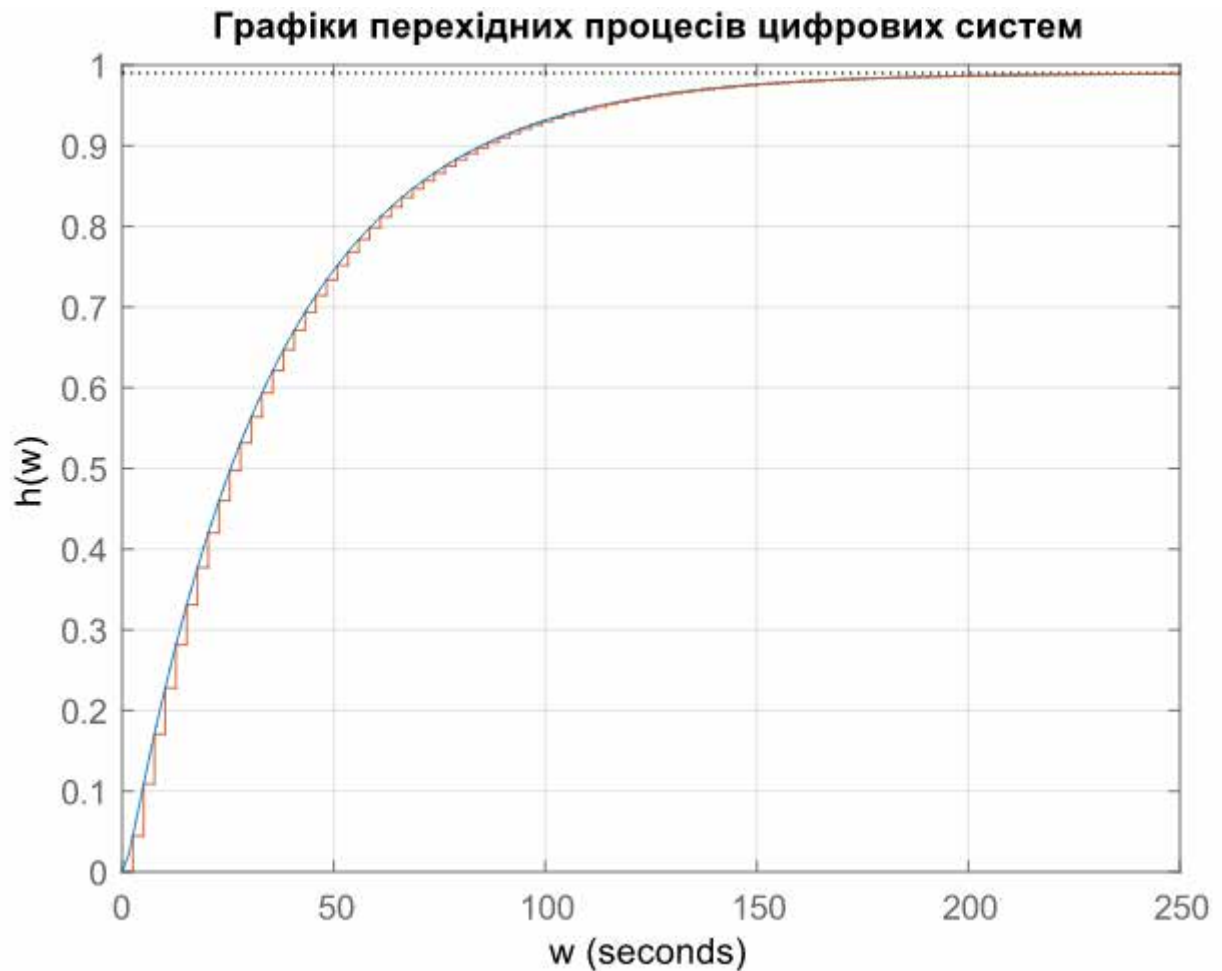


Рис. 4.3. Перехідний процес цифрової САК концентрацією живильного розчину

З графіка перехідного процесу отримуємо наступні показники якості роботи системи керування:

- час регулювання 230 с;
- статична похибка: відсутня;
- перерегулювання: відсутнє.

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування

Принципова електрична схема – це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення про принцип роботи системи [18].

Принципова електрична схема керування концентрацією живильного розчину в теплоці наведено на рис. 5.1. Система автоматичного регулювання складається з регулятора концентрації живильного розчину А1, датчиків концентрації QА, магнітних пускачів КМ1-7, проміжних реле КV1-2, перемикача режимів SA1. Апарати керування знаходяться в загальному ящику керування.

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

В ручному режимі схема працює в залежності від натискання кнопок SB1,SB2 . Перша група кнопок забезпечує відкриття та закриття регулюючого клапану. Кнопки SB4,SB5 та SB7,SB8 працює аналогічно першій групі кнопок. При натисканні на кожную із кнопок подається живлення на відповідну котушки магнітних пускачів КМ1...КМ6. Контакти кнопок дубльовані замикаючими контактами магнітних пускачів та здійснюють само підтримання. Також в кожному ланцюзі передбачено захист від одночасного вмикання двох реле для однієї заслінки у вигляді розмикаючих контактів КМ1.3...КМ6.3. При досягненні кожною їх заслінок свого максимального положення спрацьовують кінцеві вимикачі SQ1 та SQ2. Ручну зупинку забезпечують стопові кнопки SB3, SB6 та SB9. Про подання напруги на котушки магнітних пускачів свідчать сигнальні лампи HL1...HL6.

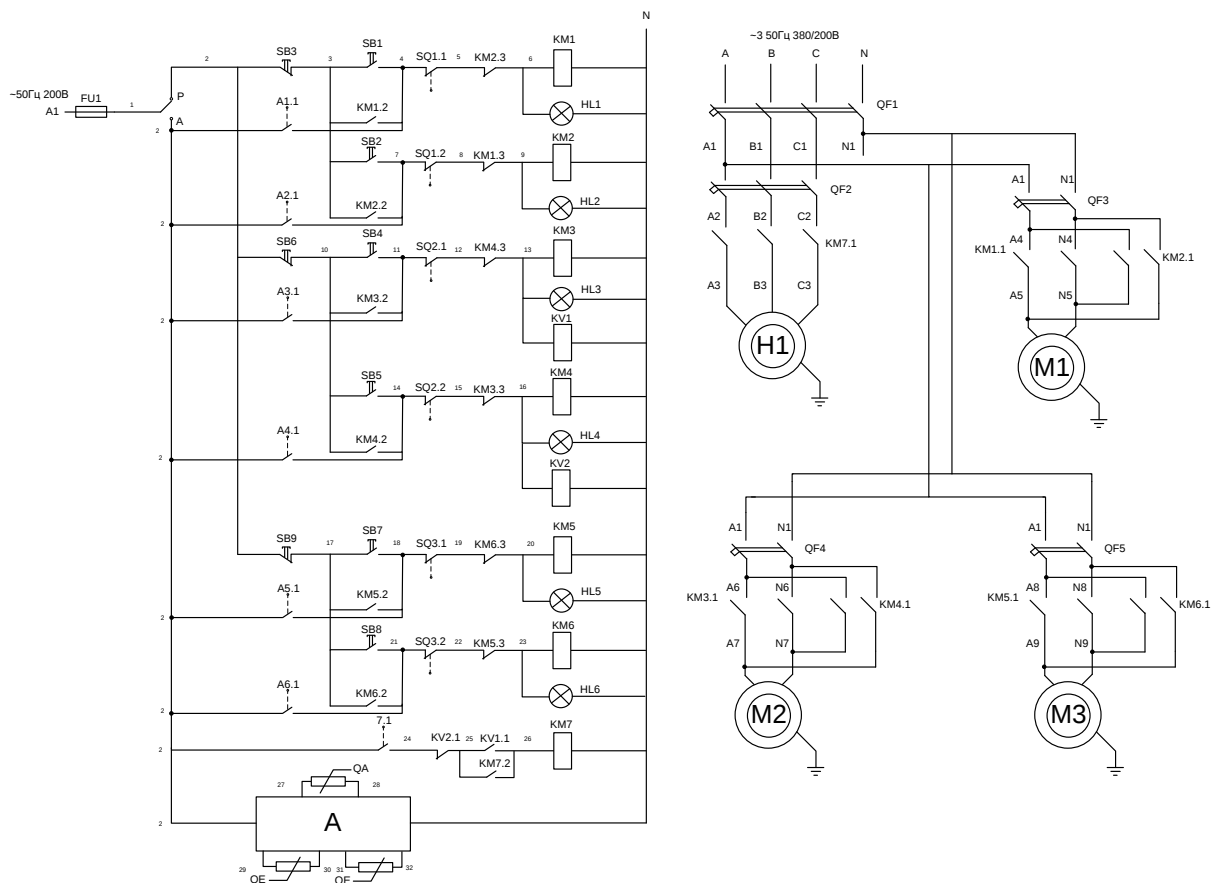


Рис. 5.1. Схема електрична принципова керування концентрацією живильного розчину в теплиці

В автоматичному режимі схемою керує регулятор A1, що ґрунтується на показах датчиків концентрації QA1 та QE1, QE2 вмикає своїми контактами A1.1...A1.6 відповідні котушки магнітних пускачів. Також в автоматичному режимі працює насос який вмикається коли контакти регулятора A1.7 замикаються.

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

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

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

Вихідні дані для розрахунку та вибору:

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

Електродвигун АИР 112М4УЗ:

А – асинхронний;

И – уніфікована серія ;

Р – прив'язка до установочних розмірів;

112 – позначення серії;

М – довжина пакету статора;

4 – кількість полюсів;

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

Вибираємо електродвигун для регулюючих клапанів Regada ST-0.1 з наступними технічними характеристиками: $P_{\text{ед}} = 1,1 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ об/хв}$; $I_{\text{н.}} = 3,2 \text{ А}$; $\eta_H = 75\%$; $\cos \varphi_H = 0,74$; $K_i = 6$, $U = 220 \text{ В}$.

5.2. Обґрунтування та вибір пуско-захисної апаратури

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

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

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

U_M – номінальна напруга електромережі, В;

в) за номінальним струмом за умовою:

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

де – $I_{н.ав}$ – номінальний струм автоматичного вимикача, А; $I_{н.дв}$ – номінальний струм електродвигуна, А;

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

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

де $I_{нр}$ – номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; 1,25 – коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання теплового розчіплювача;

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

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

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1:

Так як згідно з технологічними умовами обрано один двигун для насосу АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками: $P_{ед} = 5,5 \text{ кВт}$; $n_H = 1400 \text{ об/хв}$; $I_{н.} = 11 \text{ А}$; $\eta_H = 85\%$; $\cos \varphi_H = 0,86$; $K_i = 7$, $U = 380 \text{ В}$, а також три виконавчих механізми Regada ST-0 для регулюючих клапанів з наступними технічними характеристиками: $P_{ед} = 1,1 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ об/хв}$; $I_{н.} = 3,2 \text{ А}$; $\eta_H = 75\%$; $\cos \varphi_H = 0,74$; $K_i = 6$, $U = 220 \text{ В}$.

Отже для вибору автоматичного вимикача QF1 використовуємо наступні дані:

$$U_{н.м.} = 380 \text{ В};$$

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

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

Згідно розглянутих умов (5.1, 5.2, 5.3) здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА51Г-25-34 з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.}=415В$; $I_{н.ав.}=25А$; $I_{н.р.}=32 А$; $K_{відс.р.м..}=12$

$$415В > 380В; 25А > 20,6А; 32А > 25,75А.$$

Умови (5.1, 5.2, 5.3) виконуються, отже, автоматичний вимикач вибраний вірно.

Вибір автоматичного вимикача

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.ав} \geq U_{м.}, \quad (5.4)$$

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

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

в) за номінальним струмом за умовою:

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

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

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

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot I_{н.дв}, \quad (5.6)$$

де $I_{нр.}$ – номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; 1,25 – коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання;

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

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

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1.

Так як згідно з технологічними умовами обрано три виконавчі механізми Regada ST-0 для регулюючих клапанів з наступними технічними характеристиками: $P_{\text{ЕД}} = 1,1 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ об/хв}$; $I_H = 3,2 \text{ А}$; $\eta_H = 75\%$; $\cos \varphi_H = 0,74$; $K_i = 6$, $U = 220 \text{ В}$.

Отже виберемо один автоматичний вимикач QF, а оскільки параметри двигунів однакові то він підійде для всі трьох двигунів, використовуємо наступні дані:

$$U_{\text{н.м.}} = 220 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.}} = I_{\text{н.дв.}} = I_{\text{н.дв}} = 3,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{н.р.}} = 3,2 \cdot 1,25 = 4 \text{ А};$$

Згідно розглянутих умов (4, 5, 6) здійснюємо вибір автоматичного вимикача.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА-2012 2р 6А з наступними технічними характеристиками $U_{\text{н.ав.}} = 400 \text{ В}$; $I_{\text{н.ав.}} = 6 \text{ А}$; $I_{\text{н.р.}} = 8 \text{ А}$; $K_{\text{відс.р.м.}} = 12$
 $400 \text{ В} > 220 \text{ В}$; $3,2 \text{ А} > 6 \text{ А}$; $8 \text{ А} > 4 \text{ А}$.

Вибір автоматичного вимикача

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{\text{н.ав}} \geq U_{\text{м.}}, \quad (5.7)$$

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

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

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{\text{н.ав}} \geq I_{\text{н.дв}}, \quad (5.8)$$

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

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

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{\text{нр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{н.дв}}, \quad (5.9)$$

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

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

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

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

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF2:

Так як згідно з технологічними умовами обрано один двигун для насосу АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками: $P_{ед} = 5,5 \text{ кВт}$; $n_H = 1400 \text{ об/хв}$; $I_{н.} = 11 \text{ А}$; $\eta_H = 85\%$; $\cos \varphi_H = 0,86$; $K_i = 7$, $U = 380 \text{ В}$

Отже для вибору автоматичного вимикача QF2 використовуємо наступні дані:

$$U_{н.м.} = 380 \text{ В};$$

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

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

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

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

Умови (7, 8, 9) виконуються отже автоматичний вимикач вибраний вірно.

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватись для автоматичного керування електродвигунами та іншим

електрообладнанням. Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{\text{н.мп.}} \geq U_{\text{м.}}, \quad (5.10)$$

де $U_{\text{н.мп.}}$ – номінальна напруга магнітного пускача, В;

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

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{\text{н.мп.}} \geq I_{\text{н.}}, \quad (5.11)$$

де $I_{\text{н.мп.}}$ – номінальний струм магнітного пускача, А;

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

г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{\text{к.мп.}} \geq U_{\text{кк.}}, \quad (5.12)$$

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

$U_{\text{кк.}}$ – напруга кола керування, В;

д) за ступенем захисту;

є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ7:

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

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна.

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

$380\text{В}=380\text{В}$; $16\text{А}>11\text{А}$; $220=220$

Вибір електромагнітного пускача

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватись для автоматичного керування електродвигунами та іншим

електрообладнанням. Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{\text{н.мп.}} \geq U_{\text{м.}}, \quad (5.13)$$

де $U_{\text{н.мп.}}$ – номінальна напруга магнітного пускача, В;

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

в) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{\text{н.мп.}} \geq I_{\text{н.}}, \quad (5.14)$$

де $I_{\text{н.мп.}}$ – номінальний струм магнітного пускача, А;

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

г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{\text{к.мп.}} \geq U_{\text{кк.}}, \quad (5.15)$$

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

$U_{\text{кк.}}$ – напруга кола керування, В;

д) за ступенем захисту;

е) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітних пускачів:

$$U_{\text{н.с.м.}}=220\text{В}; I_{\text{н.дв.}}=3,2\text{А}; U_{\text{н.м.у.}}=220\text{В}$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна.

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ-1510 із наступними технічними характеристиками: $U_{\text{н.м.п.}}=380\text{В}; I_{\text{н.м.п.}}=10\text{А}; U_{\text{н.к.}}=220\text{В}$.

$$380\text{В}>220\text{В}; 10\text{А}>3.2\text{А}; 220=220$$

Вибір плавкого запобіжника.

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

Вибір плавкого запобіжника виконується за такими умовами:

а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою з умови:

$$U_{н.з} \geq U_{к.у}, \quad (5.16)$$

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

в) за номінальним струмом з умови:

$$I_{н.зап} \geq I_{к.у}, \quad (5.17)$$

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

$I_{к.у}$ – максимальне значення струму, який протікає через запобіжник, встановлений в нерозгалуженій частині кола керування, А.

Максимальне значення струму, який протікає через запобіжник

$$I_{к.у} = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (5.18)$$

$$I_{кк.} = I_{км.} + 2 \cdot I_{кл} + 6 \cdot I_{hl}, \quad (5.19)$$

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

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

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

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

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

г) за номінальним струмом плавкої установки з умови:

$$I_{н.вс} \geq I_{к.у}, \quad (5.20)$$

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

Вихідні дані: $U_{к.к} = 220 \text{ В}$

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

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

Плавкий запобіжник ПРС-6-П вибраний вірно, так як умови (11, 15, 118) виконуються.

5.3. Розробка загального виду щита керування

Щитом керування є площина з листового металу в якій прорізаються отвори для установки кнопок і перемикачів керування. Кількість і призначення елементів керування визначена по принциповій електричній схемі. Послідовність органів керування звітує логіці управляючих дій оператора: пуск і стоп сигналізації, вибір і керування двигунами, перевірка ламп сигналізації і так далі.

За моїм завданням розробки системи автоматичного керування концентрацією живильного розчину в теплиці, панель керування має шафовий тип зі штативом. Експериментальним шляхом були підібрані такі розміри щита 500 x 500 x 300 мм. Умовам розміщення відповідає шафний щит малогабаритний типу ЩШМ.

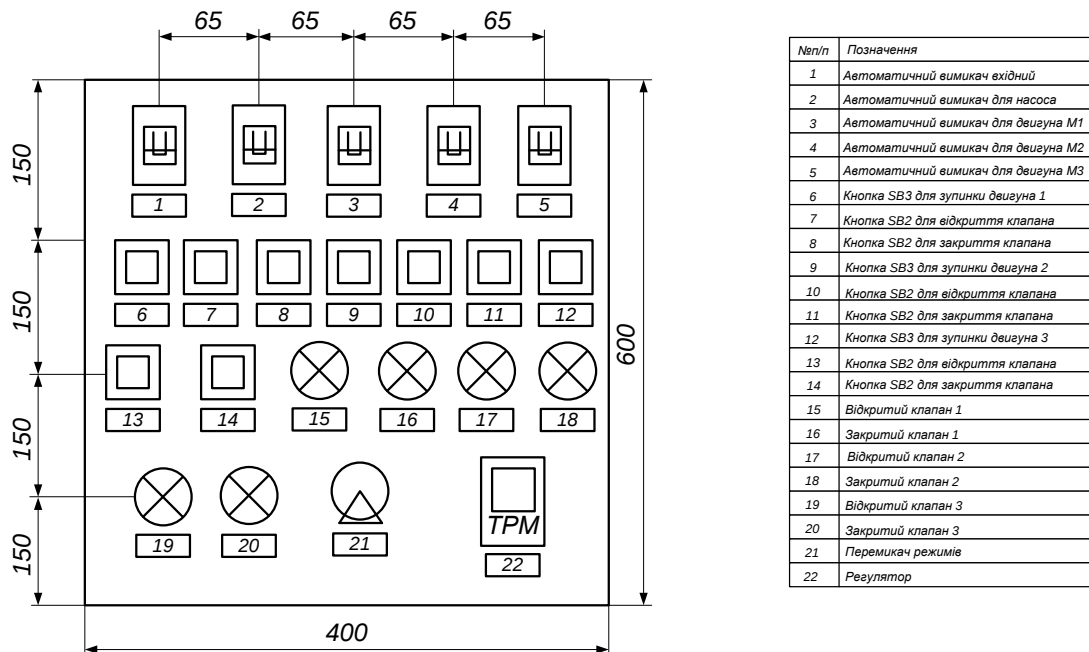


Рис. 5.2. Зальний вигляд щита керування концентрацією живильного розчину в теплиці

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

На (рис. 5.2) зображено загальний вигляд щита керування концентрацією живильно розчину.

5.4. Обґрунтування та вибір проводів та кабелів

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

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

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз} \quad (5.21)$$

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

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

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos \phi_{ном}} \quad (5.22)$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \cos \phi_{ном}} \quad (5.23)$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \phi_{ном}} \quad (5.24)$$

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

$$I_{м.роз.} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз)} \quad (5.25)$$

де K_o – коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії,

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

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення двигуна М1:

АИР 112М4УЗ з наступними технічними характеристиками:

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

Розраховуємо номінальний струм двигуна згідно із умовою :

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

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

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

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

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

Розраховуємо номінальний струм двигуна згідно із умовою :

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

Згідно із умовою (19) $16 \text{ А} \geq 3,2 \text{ А}$, обираємо трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГнгГ.

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

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

Так як номінальний струм живлення датчику складає 0,2 А обираємо обираємо двухжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1,5 мм² марки АПВГ .

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення установки:

$$I_{ном1} = 11A, I_{ном1} = 3,2 \cdot 3 = 10,24A$$

$$I_{ном3} = 0,2 \cdot 3 = 0,6A$$

Згідно із формулою (21):

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

Згідно із умовою (19) $70A \geq 65,5A$,обираємо кабель ВВГнГ 2х10 з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 10 мм², тривало допустимий струм якого дорівнює 70А.

5.5. Розробка схеми електричної з'єднань

Схема з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу.

На основі схеми електричної принципової, мною була розроблена схема електрична з'єднань.[15]

Деякі особливості її описані нижче:

- схема складається з трьох частин – передньої панелі, лівої бічної панелі, та задньої панелі.
- на передню панель винесено автоматичні вимикачі, які забезпечують живлення всієї системи, автоматичне вимикання двигунів, перемикач режимів (0 вимкнено; А – автоматичне керування; Р – ручне керування) сигнальні лампи, кнопки, регулятор та запобіжник .

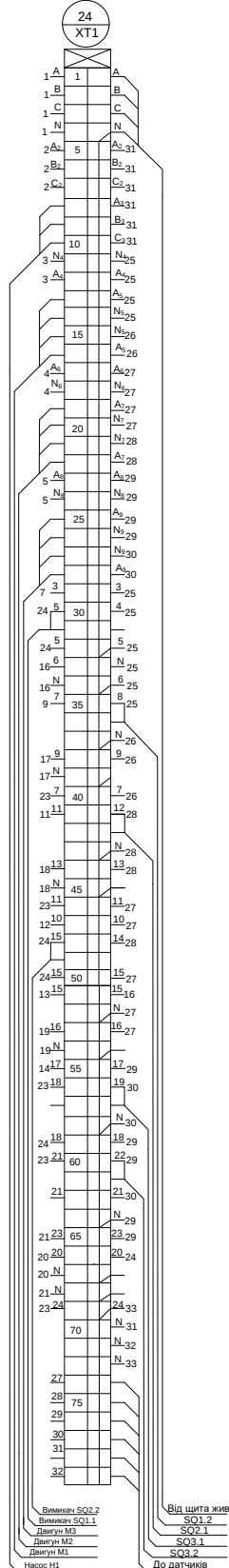
- на лівій бічній панелі знаходиться клемна збірка через яку здійснюється внутрішня комутація щита, а також до якої підводяться кабелі що йдуть із зовні.

- на задній панелі щита знаходиться магнітні пускачі, проміжні реле.
- схема виконана адресним методом.

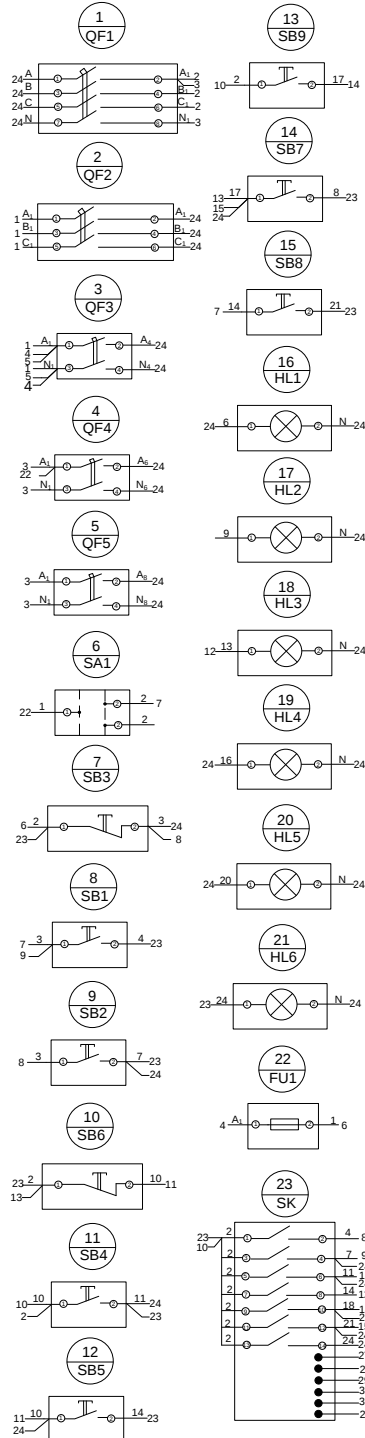
Загальний вигляд схеми електричної схеми зє'днань наведено на рис.

5.3.

Ліва бічна панель



Передня панель



Задня панель

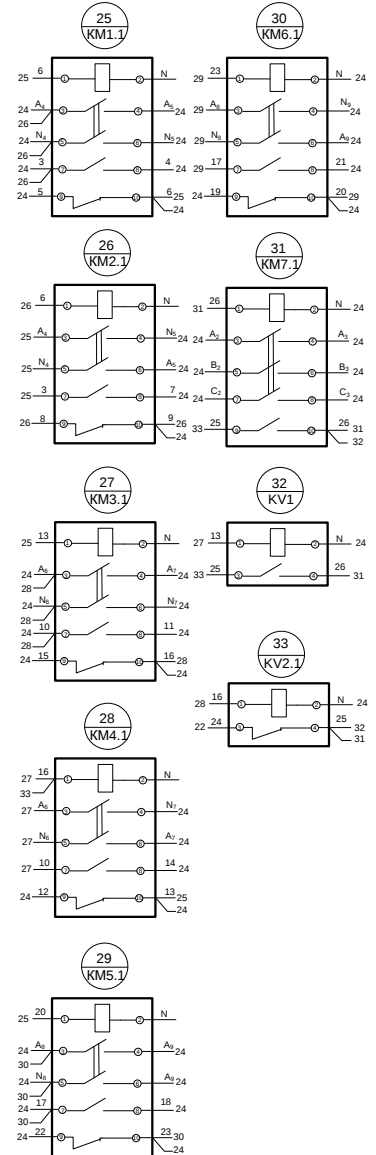


Рис. 5.3. Схема електрична з'єднань системи керування концентрацією живильного розчину в теплиці

5.6. Розробка схеми електричної підключень

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

На схемі електричній підключень (рис. 5.4) показані зв’язки щита керування САК із зовнішніми пристроями такими як: щит живлення, електродвигуни приводу транспортерів, кінцеві вимикачі . Зображено до яких контактів клемної збірки підключень чи інший пристрій, позначено марки кабелів, що з’єднують пристрої.

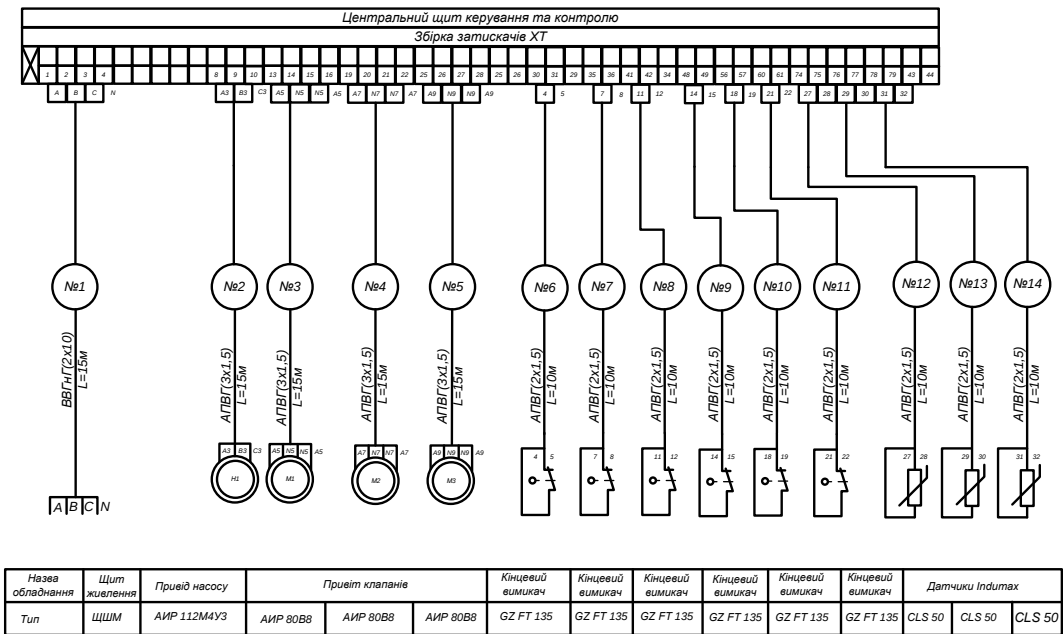


Рис. 5.4. Схема електрична підключень системи керування концентрацією живильного розчину в теплиці

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

У відповідності із постановою Верховної Ради України від 24 листопада 1992 року був введений в дію Закон України "Про охорону праці". Дія Закону визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює взаємовідносини між власниками підприємств та працівниками і встановлює єдиний порядок організації праці в Україні.

Розділ III цього закону визначає порядок організації праці, управління, обов'язки і відповідальність, як власника (керівника), так і працівника в сфері охорони праці на підприємстві.

Координація робіт міністерств, державних, профспілкових та інших зацікавлених органів у сфері охорони праці на державному рівні покладається на Державний комітет України по нагляду за Охороною праці.

6.1. Аналіз стану безпеки праці на господарстві

Від рівня кваліфікації і ретельності виконання електромонтерами вимог електробезпеки під час монтажу та експлуатації електрОКстановок залежить безпека виробничого персоналу та сільськогосподарських об'єктів.

З безпекою праці тісно пов'язані пожежна безпека та блискавкозахист, оскільки пожежі, які виникають на виробництві, а також грозові розряди, загрожують не лише матеріальним цінностям, але і життю людей. З урахуванням стану охорони праці в господарстві в проекті розроблені заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів, вибрані необхідні індивідуальні засоби захисту, виконаний розрахунок заземлюючого пристрою блискавкозахисту, вибрані засоби пожежогасіння.

В даний час в господарстві приділяється значна увага питанням охорони праці, створенню оптимальних умов праці, відпочинку. На кожному виробничому об'єкті призначаються відповідальні з правил техніки безпеки.

Перед зарахуванням на роботу, а також періодично, проводяться заняття, інструктажі з охорони праці, в спеціально обладнаному класі. Інструктажі проводяться також безпосередньо на робочих місцях. Кожен рік електромонтери здають іспит з правил техніки безпеки, на основі чого їм присвоюється кваліфікаційна група з ПТЕ і ПТБ.

Особи, що працюють з шкідливими речовинами, періодично проходять медичний огляд. Робітники забезпечуються спецодягом та захисними засобами. Однак, порушення правил техніки безпеки все ще трапляються, що нерідко призводить до травматизму людей, зниження їх працездатності. Тому, в господарстві необхідно більше уваги приділяти охороні праці, навчанню людей, підвищенню контролю відповідальних осіб за дотриманням правил техніки безпеки на виробництві.

6.2. Безпечність об'єкта проектування

Розроблені у проекті технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів мають за мету :

- захист від проникнення до обертових частин машин – передбачені огороження;
- запобігання вибуху у разі виникнення небезпечної концентрації пари на ділянках просочування, сушіння та фарбування – передбачені встановлення вибухобезпечних світильників і монтаж електропроводки в сталевих трубах;
- видалення з теплиці шкідливих газів та забезпечення припливу свіжого повітря – передбачена система вентиляції, яка складається з витяжних та припливних вентиляторів;

- захист від дотику до струмоведучих частин електрообладнання – передбачене захисне заземлення та занулення металевих частин і використання захисних засобів;
- захист споруди від прямих ударів блискавки – передбачений монтаж блискавкоприймальної сітки на даху споруди;
- забезпечення пожежобезпечності – передбачене встановлення пожежних кранів та вогнегасників;
- забезпечення робочих місць місцевим освітленням.

При експлуатації електроустановок електротехнічний персонал повинен мати групи II– IV по електробезпеці та мати допуск до експлуатації даних електроустановок. Повинні виконуватись також такі організаційні вимоги при виконанні планово– попереджувальних та аварійних робіт.

Організаційні заходи: видача наряду або розпорядження; видача дозволу на підготовку робочого місця і допуск до виконання роботи; нагляд за ходом виконання робіт; переведення на інше робоче місце; оформлення перерв у роботі та її закінчення.

6.3. Розрахунок заземлювального пристрою

Одним із найбільш розповсюджених методів захисту людей і сільськогосподарських тварин від ураження електричним струмом при порушенні ізоляції та виникненні потенціалу на не струмопровідних частинах технологічного або електрообладнання є захисне заземлення. У якості заземлювальних пристроїв використовують штучні та природні заземлювачі.

Проведемо розрахунок заземлювального пристрою для обладнання яке встановлено на підприємстві (методом коефіцієнта використання), яке керує автоматизацією на тепличному господарстві.

Заземлювальний пристрій виконуємо у вигляді контуру із сталльної штаби з прямокутним поперечним перерізом 40x4мм з вертикальними електродами діаметром $d=0,012\text{м}$, довжиною $l=5\text{м}$, закладеного на глибину

$t=0,8\text{м}$ від поверхні землі з двошаровою структурою : $\rho_1=280\text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_2=160\text{ Ом}\cdot\text{м}$, $h_1=3\text{м}$, $\rho_1/\rho_2=1,75$. Довжина мережі напругою 10 кВ повітряної лінії $L_{\text{п}}=45\text{ км}$, кабельної $L_{\text{к}}=17\text{ км}$.

В якості природного заземлювача використовується залізобетонний фундамент споруди (площа 50м^2).

1) Висуваємо до заземлювального пристрою вимоги мережі 0,38 кВ.

Рисуємо схему заміщення (рис.6.1):

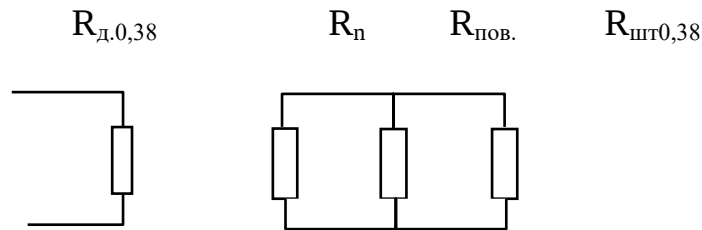


Рис. 6.1. Схема заміщення

Для визначення допустимої величини опору заземлювального пристрою обчислюємо еквівалентний питомий опір двошарового ґрунту за формулою:

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot l}{\rho_1(t + l - h_1) + \rho_2(h_1 - t)}, \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{280 \cdot 160 \cdot 5}{280(0,8 + 5 - 3) + 160(3 - 0,8)} = 197,18 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Оскільки $\rho_{\text{екв}} > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, то допустимий опір $R_{\text{д.0,38}}$ заземлювального пристрою можна перерахувати:

$$R_{\text{д.0,38}} \leq 4 \cdot \rho_{\text{екв}} / 100 = 4 \cdot 197,18 / 100 = 7,88 \text{ Ом}, \quad (6.2)$$

а опір $R_{\text{шт.0,38}}$ штучного заземлювача:

$$R_{\text{шт.0,38}} \leq 30 \cdot \rho_{\text{екв}} / 100 = 30 \cdot 197,18 / 100 = 59,15 \text{ Ом} \quad (6.3)$$

Визначаємо опір природного заземлювача:

$$R_{\text{п}} = 0,5 \cdot \frac{\rho_{\text{еф}}}{\sqrt{S}}, \quad (6.4)$$

де $\rho_{\text{еф}}$ – еквівалентне значення питомого опору ґрунту, $\text{Ом}\cdot\text{м}$; S – площа будівлі, м^2 .

$$\rho_{\text{эф}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha \frac{h_1}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta \frac{\sqrt{S}}{h_1}} \right), \quad (6.5)$$

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

$$\rho_{\text{эф}} = 280 \left(1 - e^{-3,6 \frac{3}{7,07}} \right) + 160 \left(1 - e^{-0,1 \frac{7,07}{3}} \right) = 252,81 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір природного заземлювача за формулою (7.4):

$$R_{\text{п}} = 0,5 \frac{252,81}{\sqrt{50}} = 17,88 \text{ Ом}$$

Визначаємо величину сумарного опору $R_{\text{пов}}$ всіх повторних заземлень РЕ-провідника мережі 0,38кВ. Для цього на схемі мережі (рис.6.2) розставимо заземлювальні пристрої за умовами захисту від перенапруг і повторного заземлення РЕ-провідника.

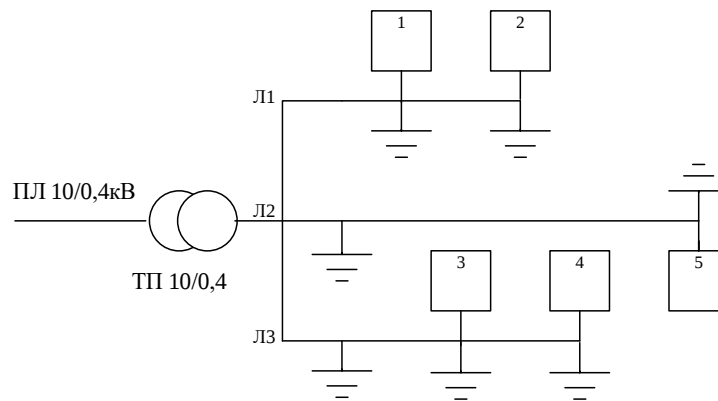


Рис. 6.2. Розрахункова схема мережі 0,38кВ

Допустима величина сумарного опору всіх заземлювальних пристроїв окремої повітряної лінії 0,38 кВт з урахуванням обчисленого вище еквівалентного питомого опору ґрунту не повинна перевищувати:

$$R_{\text{л}} \leq 10 \cdot \rho_{\text{екв}} / 100 = 10 \cdot 197,18 / 100 = 19,72 \text{ Ом}, \quad (6.6)$$

а кожного повторного заземлювача РЕ-провідника:

$$R_{\text{пз}} \leq 30 \cdot \rho_{\text{екв}} / 100 = 30 \cdot 197,18 / 100 = 59,15 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

Для зручності розрахунків приймаємо $R_{пз} = 35 \text{ Ом}$, що менше допустимого.

$$R_{л1} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ Ом}; \quad R_{л2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ Ом}; \quad R_{л3} = \frac{35}{3} = 11,66 \text{ Ом}$$

Визначимо опір повторного заземлення на усіх лініях, які відходять від трансформаторної підстанції:

$$\frac{1}{R_{л.заг}} = \frac{1}{R_{л1}} + \frac{1}{R_{л2}} + \frac{1}{R_{л3}} \quad (6.8)$$

$$\frac{1}{R_{л.заг}} = \frac{R_{л1} \cdot R_{л2} \cdot R_{л3}}{R_{л1} \cdot R_{л2} + R_{л1} \cdot R_{л3} + R_{л2} \cdot R_{л3}} = \frac{17,5 \cdot 17,5 \cdot 11,67}{17,5 \cdot 17,5 + 17,5 \cdot 11,67 + 17,5 \cdot 11,67} = 5 \text{ Ом}$$

Знайдемо сумарний еквівалентний опір природного і повторного заземлення:

$$R_{екв} = \frac{R_{п} \cdot R_{пов}}{R_{п} + R_{пов}} = \frac{17,88 \cdot 5}{17,88 + 5} = 3,91 \text{ Ом}$$

У випадку, коли $R_{екв} = 3,91 \text{ Ом} < R_{д.0,38} = 7,88 \text{ Ом}$, то опір штучного заземлення приймаємо максимально допустимим, тобто $R_{шт.0,38} = 59,15 \text{ Ом}$.

2) Знайдемо допустимий опір, виходячи із вимог мережі напругою 10кВ.

$$R_{д10} = \frac{67}{I_3}, \text{ Ом}, \quad (6.9)$$

де I_3 – струм однофазного замикання на землю. А.

$$I_3 = \frac{U_n (35 \cdot L_{кл} + L_{пл})}{350}, \quad (6.10)$$

де $L_{кл}$ – довжина кабельної лінії, км;

$L_{пл}$ – довжина повітряної лінії, км.

$$I_3 = \frac{10 \cdot (35 \cdot 17 + 45)}{350} = 18,29 \text{ А},$$

$$R_{д10} = \frac{67}{18,29} = 3,66 \text{ Ом}$$

Знаходимо опір штучного заземлювача:

$$R_{шт.10} = \frac{R_{д10} \cdot R_{п}}{R_{п} - R_{д10}}, \text{ Ом} \quad (6.11)$$

$$R_{шт.10} = \frac{3,66 \cdot 17,88}{17,88 - 3,66} = 4,61 \text{ Ом}$$

Порівнявши опори штучних заземлювачів ліній 0, 38 кВ та 10 кВ, для розрахунку приймаємо менший з них $R_{шт.10} = 4,61 \text{ Ом}$.

Перейдемо до розрахунку заземлювальних пристроїв ТП. Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_{в} = \frac{\rho_{екв} \cdot k_c}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot h + l}{4 \cdot h - l} \right), \quad (6.12)$$

де $k_c = 1,5$ – коефіцієнт сезонності, який враховує збільшення опору в залежності від пори року; d – діаметр стержня, м; l – довжина стержня, м; h – відстань від поверхні землі до середини стержня, м:

$$h = 0,8 + \frac{1}{2} \cdot 5 = 3,3 \text{ м} \quad (6.13)$$

$$R_{в} = \frac{197,18 \cdot 1,15}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 51,42 \text{ Ом}$$

Знаходимо провідність вертикального стержня:

$$g_{в} = \frac{1}{R_{в}} = \frac{1}{51,42} = 0,019 \frac{1}{\text{Ом}} \quad (6.14)$$

Визначаємо кількість вертикальних стержнів:

$$n_{в} = \frac{R_{шт}}{R_{в}} = \frac{51,42}{4,61} = 11,15 \text{ приймаємо } n_{в} = 12$$

Схема контура заземлювача у вигляді квадрата із стороною 10 м наведена на рис. 6.3, з якого видно, що довжина горизонтальних елементів заземлювача становить 120 м.

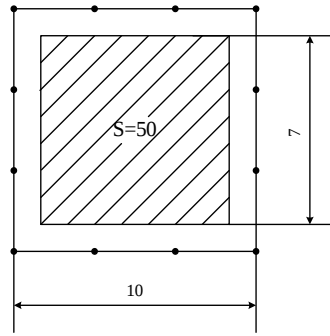


Рис. 6.3. Схема контура заземлювача

Для визначення опору горизонтальних елементів спочатку визначаємо еквівалентний опір ґрунту з використанням лінійної інтерполяції, $\rho_{\text{ег}}=286,4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Визначаємо опір горизонтальних стержнів:

$$R_r = \frac{k_c \cdot \rho_{\text{ег}}}{2\pi \cdot l_r} \ln \frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot t}, \quad (6.15)$$

де l_r – довжина горизонтальних заземлювачів, $l_r=120 \text{ м}$; k_c – коефіцієнт сезонності для горизонтальних елементів, $k_c=2$;

$$R_r = \frac{2 \cdot 286,4}{2 \cdot 3,14 \cdot 120} \ln \frac{2 \cdot 120^2}{0,04 \cdot 0,8} = 5,99 \text{ Ом}$$

Провідність горизонтального заземлювача:

$$g_r = \frac{1}{R_r} = \frac{1}{5,99} = 0,167 \frac{1}{\text{Ом}} \quad (6.16)$$

Знаходимо опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{\eta(n \cdot g_b + g_r)}, \quad (6.17)$$

де $\eta = 0,716$ – коефіцієнт використання заземлення.

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{0,716 \cdot (12 \cdot 0,019 + 0,167)} = 3,54 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{шт}} < R_{\text{шт.10}}, \quad (6.18)$$

$$3,54 \text{ Ом} < 4,61 \text{ Ом}$$

Як видно з виразу, опір розрахованого штучного заземлювача менший від допустимого опору.

Таким чином, штучний заземлювальний пристрій є замкненим контуром, що включає 12 вертикальних стержнів завдовжки 5м кожний, діаметром 0,012м, з'єднаних горизонтальною штабою перерізом 40×4мм, завдовжки 120м.

Загальний опір R_3 заземлювального пристрою з урахуванням опорів природного заземлювача і повторних заземлень нульового проводу повітряної лінії при цьому буде:

$$R_3 = \frac{1}{R_{\Pi}} + \frac{1}{R_{\text{шт}}} + \frac{1}{R_{\text{пов}}} = \frac{1}{17,88} + \frac{1}{3,54} + \frac{1}{5} = 0,54 \frac{1}{\text{Ом}} \quad (6.19)$$

Отже, $R_3 = 1,85 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 7,88 \text{ Ом}$, що задовольняє вимоги ПУЕ-85.

6.4. Блискавкозахист будівель і споруд на об'єкті

Грозові розряди атмосферної електрики небезпечні для життя людей. До того ж блискавка при ударі в будівлю або споруду може завдати великих руйнувань, викликати пожежу.

Блискавковідводи мають різні конструкції: стержньові, антенні та сіточні. Найбільш поширені стержньові.

Блискавковідводи складаються з таких елементів: блискавкоприймача, струмовідводу, заземлювача та мачти.

Одиночний стержньовий блискавковідвод створює навколо споруди, біля якої він встановлений, захисну зону у вигляді подвійного конуса з круглою основою. Радіус його в півтора рази більше висоти блискавкоприймача.

Захисну зону блискавкоприймача можна відобразити графічно. Проведемо горизонтальну лінію та перпендикулярно до неї в масштабі висоту блискавкоприймача, рівну R (рис. 6.4)

На горизонтальній лінії із точки O в обидва боки в тому ж масштабі відкладемо радіуси основи r , що дорівнюють $1,5 h$. Кінці радіусів позначимо літерою B . На лінії OH , на відстані $0,8 h$ від основи, відзначимо точку B , а на лінії радіусів – точки Γ , котрі ділять радіуси на дві рівні частини.

При захисті довгих споруд встановлюють два стержньових блискавковідводи. Зона захисту рівних за висотою (h не більш 60 м) блискавковідводів із відстанню між ними a зображена на рис. 6.4.

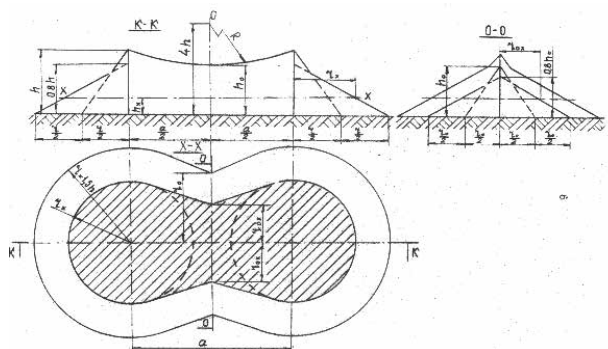


Рис. 6.4. Схема захисту будівлі від блискавки двома стержньовими блискавковідводами

Торцева частина зони захисту визначається як зона одиночних стержньових блискавковідводів. Верхня межа зони являє собою дугу кола, що проходить через вершини блискавковідводів з центром, який знаходиться на перпендикулярі, проведеному зі середини відстані на висоті $4h$.

Окреслення зони захисту в перерізі вертикальною площиною посередині між блискавковідводами визначають за правилом побудови зони захисту одиночного стержньового блискавковідводу висотою h_0 (рис. 6.4), при цьому радіус основи $r_0 = 1,5 h_0$.

Висоту зони в середині подвійного стержньового блискавковідводу h_0 , при відомій висоті h та довжині будови a визначають за формулою

$$h_0 = 4h - \sqrt{9h^2 + 0,25a^2} \quad (6.20)$$

При побудові подвійного стержньового блискавковідводу слід враховувати, що при $a > 5h$ спільна дія одиночних блискавковідводів порушується, оскільки в такому випадку $h_0 = 0$.

Висоту блискавководу при відомих h_0 та a розраховують за формулою

$$h = 0,571h_0 + \sqrt{0,183h_0^2 + 0,0357a^2}$$

6.5. Пожежна безпека

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

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

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

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

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

В табл. 6.1 наведений перелік первинних засобів пожежогасіння.

Набір первинних засобів пожежогасіння

Первинний засіб пожежогасіння	Кількість, шт
Вогнегасник хімічний пінний	2
Вогнегасник вуглекислотний	1
Ящик із піском (0,5 м ³)	1
Азбестове або войлокове полотно	1
Лом	1
Пожежна сокира	2
Багор	3
Ємність з водою (250 л)	1
Пожежне відро	2

Усі працівники тепличного господарства при поступанні на роботу повинні пройти первинний протипожежний інструктаж.

Для забезпечення швидкої евакуації людей, машин, обладнання та інших матеріальних цінностей повинен бути розроблений план евакуації.

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

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

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Для оцінки доцільності впровадження розробленої системи керування необхідною умовою є техніко-економічне обґрунтування, яке повинно оцінюватися з різних точок зору.

Визнаними в світовій практиці основними показниками, що акумулюють вигоди від упровадження науково-технічних розробок та використовуються для оцінки економічної ефективності проектів, є:

- чистий дисконтований дохід (прибуток);
- індекс дохідності (прибутковості);
- період окупності інвестицій у реалізацію проектів.

Величину ЧДП при постійній нормі дисконту (E) визначають за формулою:

$$ЧДП = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (7.1)$$

де R_t – результати, які досягаються на кроці t ; Z_t – витрати, які здійснюються на кроці t (без капітальних вкладень); T – тривалість розрахункового періоду; E – постійна норма дисконту; K – капітальні вкладення.

Результати, які досягаються у будь який період R_t , визначаються вартістю природного газу R_G , що був зекономлений.

Капітальні вкладення у даному випадку будуть тільки на першому етапі експлуатації:

$$K = B_{СК}, \quad (7.2)$$

де $B_{СК}$ – вартість системи керування мікрокліматом у теплиці.

Норма дисконту приймається постійною і рівною $E = 0,18$.

Індекс прибутковості, який є відношенням суми приведених ефектів до величини капітальних вкладень, розраховується за формулою:

$$IP = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \quad (7.3)$$

Індекс прибутковості тісно пов'язаний з ЧДП, якщо ЧДП позитивний, то ІП більший за одиницю і навпаки. Якщо ІП більший за одиницю, проект ефективний, якщо ІП менший за одиницю – неефективний.

Внутрішня норма прибутковості E_{BH} (ВНП) є нормою дисконту, при якій величина приведених ефектів дорівнює приведеним капітальним вкладенням. E_{BH} визначається при розв'язанні рівняння:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{BH})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{BH})^t} \quad (7.4)$$

Коли ВНП дорівнює або більше потрібної інвестору норми прибутку на капітал, інвестиції у даний інвестиційний проект виправдані. В іншому разі вони недоцільні.

Для впровадження розробленої системи керування вихідні дані наведено в табл. 7.1:

Таблиця 7.1.

Орієнтовна вартість технічних засобів системи керування
на 1 секцію теплиці

Назва	К-сть	Вартість, тис.грн
Насос циркуляційний	2	3,5
Змішувальний двигун	1	3,5
Датчики електропровідності	2	1,5
Датчик сонячної радіації	1	13,5
Регулятор	1	3,5
Сервопривід + клапан	6	1,2
Інші засоби		1,2
Всього		27,9

Термін окупності – мінімальний часовий інтервал (від початку здійснення проекту), за межами якого інтегральний ефект стає і в подальшому залишається невід'ємним.

У зв'язку з тим, що комплектація технічних засобів кожної секції теплиці приблизно однакова, то для 6 секцій теплиці загальна вартість капітальних вкладень становитиме, 167.4 тис.грн.

Загальні капітальні вкладення 167.4 тис. грн. у тому числі в першому році реалізації проекту 100,57 тис. грн.

Дохід за весь період 16,0 млн. грн.

Ставка дисконтування 0,18.

Термін реалізації інноваційно- інвестиційного проекту 5 років.

Ціна одиниці продукції 30 грн.

Постійні витрати на виробництво продукції 8 грн.

Змінні витрати на виробництво одиниці продукції 15 грн.

У кожному наступному році збільшується ступінь дисконтування. Обчислення ЧДД у цьому разі приводять до даних кожного року реалізації проекту. Підсумувавши визначені дані, одержимо $ЧДД_5 = 82,32$ тис. грн.

Індекс дохідності (рентабельності), є співвідношення чистого дисконтованого доходу та одноразових і капітальних витрат на використання нової технології, що визначає дисконтовану норму прибутку. При сумі ЧДД₅, рівній 82,32 тис. грн., акціонерному капіталі в 500,0 тис. грн. індекс дохідності становитиме:

$$ID = \sum_{t=0}^5 \frac{ЧЧД_t}{K_t} = \frac{82.32}{167.4} = 0.492, \text{ або } 49.2\%$$

Тобто рентабельність становитиме 49,2 %, а впровадження системи слід визнати прибутковим.

Період окупності інвестицій для впровадження розробленої системи керування – період, необхідний для повернення їх первісної суми за рахунок накопичених чистих потоків реальних грошей в результаті функціонування зазначеної системи керування. Витрати будуть окупленими приблизно за два роки:

$$T = \frac{167.4}{82.32} = 2.03$$

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

У цьому випадку це співвідношення має вигляд:

$$T_{\sigma} = \frac{8}{30-15} = 0,53 = 53\%$$

Точка беззбитковості знаходиться в межах 53% номінального обсягу виробництва, що підтверджує надійність проекту. У випадку ж існування системи керування на підприємстві, капіталовкладення розраховуються окремо, при чому їхня величина буде значно меншою. Методика проектного аналізу [15] передбачає оцінку інвестиційних ризиків. Для урахування факторів невизначеності і ризику при оцінці ефективності проекту використовується вся інформація про умови його реалізації, у тому числі і така, яка не виражена у формі будь яких імовірнісних законів розподілу. До динамічних ризиків відносять такі, що виникають внаслідок непередбачуваних змін вартісних оцінок проекту, первинних управлінських рішень і змін ринкових та політичних обставин. До статичних відносять ризики втрати майна внаслідок заподіяних збитків або незадовільної організації виконання проекту.

Для аналізу взяті найважливіші фактори при реалізації проекту за рахунок кредиту:

- зміна рівня інфляції та дисконту;
- зміна вартості природного газу, одиниці продукції;
- можливі відхилення у вихідних даних за результатами

впровадження системи керування.

Для визначення впливу факторів на ЧДП здійснюється аналіз чутливості доходу до змін зазначених факторів у межах $\pm 10\%$ при терміні реалізації проекту 2,03 року.

Для аналізу ризику, пов'язаного із застосуванням системи автоматизованого керування, застосовувався метод за методикою [15]. Він полягає у застосуванні імітаційних моделей, які дозволяють відтворити множини сценаріїв, які узгоджуються з заданими обмеженнями на вихідні змінні. При цьому як очікуваний інтегральний ефект інвестиційного проекту розглядаються імовірні величини показників ефективності проекту, у даному випадку ЧДП. З урахуванням (7.3) та (7.4) прогнозована модель прийме вигляд:

$$ЧДП = \sum_{t=0}^T (G_n \cdot B_n - 3_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (7.5)$$

де G_n – маса додатково отриманої овочевої продукції; B_n – вартість 1 кг томатів.

Якщо прийняти рівноімовірну зміну факторів у межах $\pm 20\%$ від базових значень і, виконавши генерацію множини випадкових сценаріїв, отримуємо гістограму розподілу чистого дисконтованого доходу при 167.4 прогонах.

При прийнятих параметрах моделі за методикою [15] коефіцієнт очікуваних втрат визначається за формулою:

$$K_B = \frac{B}{B + \Pi}, \quad (7.6)$$

де B – очікувані втрати (сума всіх від'ємних результатів, помножених на імовірність їх утворення); Π – очікувані прибутки (сума всіх позитивних результатів, помножених на імовірність їх утворення).

При імовірності 0,95 очікувані втрати дорівнюють нулю, тому коефіцієнт очікуваних втрат K_B також дорівнює нулю, що дозволяє зробити висновок про відсутність ризику, пов'язаного із впровадженням автоматизованої системи керування процесом вирощування томатів у теплицях.

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській роботі досліджено систему автоматичного керування концентрацією живильного розчину в теплиці. Встановлено, що П-алгоритм керування не може повністю задовольнити вимоги технологічного процесу.
2. Проаналізовано технологічні особливості процесу і технічні засоби системи керування.
3. Синтезовано математичну модель зміни електропровідності живильного розчину залежно від освітленості.
4. Проведено обґрунтування та вибір регулятора з ПІД законом для плавного дозування живильного розчину як для змішування так і для подачі до рослин.
5. Техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження результатів магістерської роботи показав високу ефективність та низький ризик при впровадженні. Термін окупності становить близько 2 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hugo Challa. Integration of explanatory and empirical crop models for greenhouse management support, Proceedings of Models / C. Hugo – Plant Growth, Acta Hort. 507 – 2007. – pp:107–115.
2. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption / X. Blasco [et al] // Computers and Electronics in Agriculture. – January 2007. – Volume 55, Issue 1. – p. 49–70.
3. Головінський Б.Л. Цифрові системи керування: Навчальний посібник / Б.Л. Головінський, Ю.В. Шуруб, А.О. Дудник, В.П. Лисенко. – К.: Вид. Центр НУБіП України, 2013. – 110 с.
4. Гладкий А.М. Технічні засоби автоматики / А.М. Гладкий. – Київ 2003. р. – 176с.
5. Іваненко В. Ф. Моделювання енерговитрат у тепличному господарстві / Матеріали десятої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Менеджмент підприємницької діяльності». – Сімферополь. – 3-4 квітня 2012. – С. 51–53.
6. Іваненко П. П. Закритий ґрунт. / П. П. Іваненко, О. В. Приліпка // К.: Урожай. – 2001. – 360 с.
7. Косицын О.А. Электро-технология и электрическое освещение/ О.А. Косицын – М.: Агропромиздат, 1990 г. – 130 с. 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., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК / – Київ 2008р. – 330с.

- 10.Марченко О.С. Довідник по монтажу і налагодженню електро-обладнання в с.г/ О.С.Марченко. – К.: Урожай, 1994 р – 69 с.
- 11.Методи і засоби сучасного автоматизованого управління: навчальний посібник / [Лисенко В. П., Головінський Б. Л., Голуб Б. Л., Руденський А. А.] – К.: Видавничий центр НАУ, 2007. – 62 с.
- 12.Польовий А. М. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОТОСИНТЕЗУ ЗЕЛЕНОГО ЛИСТКА / Вісник Одеського державного екологічного університету, 2009, вип.8.
- 13.Чапний М.В., Шворов С.А. – Методичні вказівки: «Автоматизація типових технологічних процесів / М.В.Чапний, С.А. Шворов. – Київ 2010р. –8с.
14. Шишко Г.Г. Теплицы и тепличное хозяйство: Справочник / Г.Г. Шишко, В.О. Потапов, Л.Т. Сулима, Л.С. Чебанов. К.: Урожай, 1993. – 422 с. ВА549994