

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

УДК 631.371:621.31

ПОГОДЖЕНО

**Директор ІНІ енергетики,
автоматики і енергозбереження**

проф., д.т.н. _____ **КАПЛУН В.В.**
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій**

доц., к.т.н. _____ **ОКУШКО О.В.**
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ
СИСТЕМИ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИ ВИРОЩУВАННІ РОСЛИН
ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ NFT»**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

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

_____ (підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

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

_____ (підпис)

Синявський О.Ю.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Місан П.Ю.
(ПІБ)

КИЇВ – 2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

_____ **Окушко О.В.**
к.т.н., доц. (підпис)
« _____ » 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ
Місану Павлу Юрійовичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Розроблення та дослідження електротехнологічної системи мінерального живлення при вирощуванні рослин за технологією NFT»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 № 1666”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 11 . 2024

Вихідні дані до магістерської роботи: «Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; матеріали практики.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз впливу параметрів живильного розчину на ріст і розвиток рослин.

2. Провести аналіз технологічного та електротехнічного обладнання в зимовій гідропонній теплиці.

3. Провести дослідження електротехнологічного обладнання для мінерального живлення рослин у теплицях.

4. Розробити систему автоматизованого електрообладнання для приготування та подачі живильного розчину.

5. Обґрунтувати заходи з енергозбереження в теплиці.

6. Розробити заходи з охорони праці у тепличному господарстві.

7. Провести техніко-економічне обґрунтування розробленого електротехнологічного обладнання для приготування живильного розчину

Дата видачі завдання 27.09.2024

Керівник магістерської роботи _____ **Синявський О.Ю.**
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Місан П.Ю.**
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 93 с., 21 рис., 15 табл., 39 джерел.

Об'єкт досліджень –технологічний процес приготування живильних розчинів при вирощуванні рослин у теплицях за технологією NFT.

Мета досліджень – розроблення та дослідження параметрів системи електрообладнання для приготування живильного розчину, яка забезпечує підтримання кислотності і концентрації живильного розчину на оптимальному для кожної культури рівні.

Методи дослідження та апаратура: моделювання, методи математичної статистики та ін.

Обґрунтоване технологічне та електротехнічне обладнання для підтримання мікроклімату та забезпечення режиму мінерального живлення рослин у гідропонних теплицях.

Проведене дослідження автоматизованого електрообладнання для вирощування рослин в теплицях за технологією NFT.

Розглянуті питання енергозбереження та безпеки праці на тепличному комбінаті.

Проведені теоретичні і експериментальні дослідження впливу компонентів живильного розчину на контрольовані параметри, одержана модель їх динаміки в змішувальному резервуарі, розроблена структурна схема системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину і визначені оптимальні параметри налагодження регулятора, розроблений алгоритм роботи обладнання для приготування живильного розчину

Наведені техніко-економічні показники застосування електротехнологічного обладнання для приготування і подачі живильного розчину у гідропонних теплицях.

Галузь застосування – тепличне овочівництво.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	8
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН	8
1.1. Технології гідропонного вирощування рослин	8
1.2. Вплив кислотності та концентрації живильного розчину на врожайність овочевих культур і якість продукції	13
1.3. Технологічне обладнання для приготування і подачі живильного розчину в гідропонних теплицях	18
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ У ЗИМОВИХ ГІДРОПОННИХ ТЕПЛИЦЯХ	20
2.1 Вибір технологічного обладнання для гідропонного вирощування рослин в теплицях	20
2.2 Обладнання для створення необхідного мікроклімату в теплиці	20
2.3 Водопостачання тепличного господарства	23
2.4 Освітлення теплиці	23
2.5. Опромінювальне обладнання	24
2.6 Обладнання для підживлення рослин CO ₂	24
2.7. Розрахунок електронавантажень	25
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ	27
3.1. Вузол для приготування живильного розчину	27
3.2. Зміна кислотності і концентрації живильного розчину при вирощуванні рослин в теплицях	29
3.3. Дослідження зміни параметрів живильного розчину при подачі в змішувальний резервуар кислоти і розчинів добрив	32

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ	39
4.1. Дослідження об'єкта керування	39
4.2 Розробка і дослідження системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину	42
4.3. Розроблення алгоритму керування приготуванням живильного розчину в блоці гідропонних теплиць	50
4.4. Розроблення принципальної електричної схеми керування приготуванням живильного розчину	56
4.5. Розрахунок електропривода насоса подачі живильного розчину	61
РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГІДРОПОННІЙ ТЕПЛИЦІ	64
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	67
6.1 Організація охорони праці на підприємстві	67
6.2 Безпечність об'єкту проектування	68
6.3 Розрахунок потреби та вибір захисних засобів	70
6.4 Розрахунок заземлюючих пристроїв	70
6.6 Блискавкозахист будівель і споруд	76
6.7 Протипожежні заходи	76
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ	78
ВИСНОВКИ	86

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

- a_{H^+} - активність іонів водню;
C – концентрація речовини;
E – потенціал;
 E_0 – стандартний потенціал;
G – критерій Кохрена;
I – електричний струм;
K – коефіцієнт передачі;
 χ – питома електропровідність розчину;
p – оператор Лапласа;
s – тривалість імпульсу;
T – стала часу;
t – час;
U – напруга;
V – об'єм;
W(p) – передатна функція.

ВСТУП

Тепличне овочівництво є найбільш енергоємною галуззю сільськогосподарського виробництва. Для підвищення його ефективності необхідно впровадити енерго- і ресурсозберігаючі гідропонні технології, які дають змогу підвищити урожайність овочевих культур на 25-30 % при зменшенні витрати води та мінеральних добрив відповідно на 30 % і 40 %.

При гідропонних технологіях всі необхідні мінеральні речовини рослини отримують з живильного розчину, тому відхилення кислотності та концентрації мінеральних елементів в ньому від оптимальних значень приводить до порушення поглинання рослинами живильних речовин та води, внаслідок чого знижується урожайність овочевих культур та якість продукції..

Існуюче обладнання не забезпечує автоматичне приготування живильного розчину, яке б відповідали агротехнічним вимогам. Контроль і коригування складу живильного розчину на основі аналізів, які виконує агрохімічна лабораторія, не дозволяє здійснити своєчасний неперервний контроль за кислотністю (рН) та концентрацією живильного розчину і виконувати своєчасне його коригування.

Мета досліджень – розроблення та дослідження параметрів системи електрообладнання для приготування живильного розчину, яка забезпечує підтримання кислотності і концентрації живильного розчину на оптимальному для кожної культури рівні.

Об'єктом досліджень є технологічний процес приготування живильних розчинів при вирощуванні рослин у теплицях за технологією NFT.

Предмет досліджень – структура автоматизованого електрообладнання для вирощування рослин у теплицях за технологією NFT та параметри відповідного електрообладнання.

Методи дослідження та апаратура: моделювання, методи математичної статистики та ін.; рН-метр рН-150МА, рН-4110, іонімір И-160М, кондуктометри КЛ-1.2, КС-1М-7К.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в отриманні математичної моделі динаміки параметрів живильного розчину в змішувальному резервуарі та аналітичних виразів для визначення оптимальних параметрів налагодження релейно-імпульсного регулятора для астатичних об'єктів першого порядку з запізненням.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці системи електрообладнання, яка дає можливість підтримувати кислотність живильного розчину на заданому рівні з похибкою, яка не перевищує 0,2 од. рН, а концентрацію - 0,02 См/м.

На захист магістерської роботи виносяться:

1. Математична модель об'єкта керування.
2. Аналітичні вирази для визначення оптимальних параметрів налагодження релейно-імпульсного регулятора для астатичного об'єкта першого порядку з запізненням.
3. Алгоритм керування електрообладнанням для приготування живильного розчину.
4. Структура та параметри системи автоматичного керування приготуванням живильних розчинів у блоці теплиць.

У цій магістерській роботі проведений аналіз технологічного та електротехнічного обладнання для вирощування рослин у гідропонній теплиці, проведені теоретичні і експериментальні дослідження впливу компонентів живильного розчину на контрольовані параметри, одержана модель їх динаміки в змішувальному резервуарі, визначені оптимальні параметри налагодження регуляторанаведені техніко-економічні показники застосування електрообладнання для приготування і подачі живильного розчину у гідропонних теплицях.

Апробація результатів роботи. Публікації.

Місан П.Ю., Синявський О.Ю. Система керування мінеральним живленням при вирощуванні рослин за технологією NFT. Тези доповідей 77-тої науково-практичної конференції студентів «Енергозабезпечення,

електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в
АПК, м. Київ, 25 квітня 2024 р. С.60.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН

1.1. Технології гідропонного вирощування рослин

Гідропоніка – одна з найдавніших технологій вирощування рослин. Про це свідчать тисячі сади Вавилону, плавучі городи в Мексиці і Китаї, в старогрегипетських літописах описується вирощування рослин у воді. Однак перше наукове повідомлення про цей спосіб з'явилося в 1660 р, коли Ян ван Хельмонт на прикладі класичного досвіду з пагонами верби показав, що рослини засвоюють поживні речовини з води. У 1859 р Сак і Кноп поставили чистий гідропонний експеримент. Великі російські вчені К.А.Тімірязев і Д.М. Прянишников розвинули і удосконалили способи вирощування рослин без ґрунту в вегетаційних судинах. Довгий час гідропонний метод використовувався в основному тільки в наукових цілях. Вперше на практиці його застосували в 1921 р на сільськогосподарській дослідній станції Род-Айленд (США). У промислових масштабах вирощування рослин на живильних розчинах вперше почав у 1929 р в Каліфорнії (США) професор Дж. Геріке, який дав цього способу назву «гідропоніка», що в перекладі з грецької означає робота з водою.

Перші промислові гідропонні установки в нашій країні були розроблені в кінці 50-х років. Нині основне промислове значення має малооб'ємна гідропоніка. Поштовхом до її розвитку стало відкриття полімерів, які замінили дорогі бетонні піддони і резервуари, а також створення нового технологічного обладнання на основі сучасного приладобудування, електроніки і автоматики.

Найбільшого поширення набуло вирощування рослин на мінеральній ваті з використанням крапельного поливання і технологія тонкошарової проточної культури (NFT). У скандинавських країнах за цією технологією овочеві культури вирощують більш ніж на 80 % площі теплиць, в Нідерландах – 50 % (із 4000 га площі, яку займають овочеві культури, більше 2000 га переведено

на малооб'ємні технології, переважно на мінеральну вату). В Англії 80 % тепличних огірків і 50 % томатів вирощують на гідропоніці [1]. В Японії її застосовують при вирощуванні овочів на площі понад 1500 га [2], Бельгії - близько 700 га [3]. У плівкових теплицях тропічних і субтропічних зон земної кулі малооб'ємна технологія також витісняє старі способи. Гідропоніка застосовується в Австралії, Новій Зеландії, на Багамських островах, Кубі, Малайзії, Кувейті, Бразилії, в країнах Північної, Центральної та Східної Африки.

Ця технологія набуває все більшого поширення завдяки перевагам перед вирощуванням овочів в теплицях з ґрунтом. При гідропонній технології поліпшується використання площі закритого ґрунту, оскільки коротшає вегетаційний період рослин і прискорюється їх плодоношення, вище урожайність і краща якість продукції за рахунок регулювання складу живильного розчину і режимів підкормки рослин, скорочуються витрати води, добрив і теплової енергії, немає бур'янів, багатьох шкідників і хвороб, знижуються собівартість продукції і затрати праці; відкриваються широкі можливості для комплексної механізації і автоматизації основних технологічних процесів.

«Система крапельного поливу»	«Nutrient Film Technique» (N.F.T.) техніка живильного шару	«Аeropоніка»
<p>Плюси: з використанням таймера у реверсивній системі подача необхідної кількості води та контроль рівня рН відбувається одночасно та автоматично. Корені знаходяться у добре аерованому середовищі.</p> <p>Мінуси: вимагає профілактичної чистки системи, щоб уникнути появи засмічень та плісняви у прикореневій зоні та резервуарах.</p>	<p>Плюси: Не використовується субстрат, це зменшує загальні витрати на нього при вирощуванні культур. Вологе повітря у достатній кількості насичує коріння, що позитивно впливає на ріст надземної частини.</p> <p>Мінуси: пошкодження насосу або вимкнення електроенергії повністю унеможливає роботу системи, коріння швидко висихає.</p>	<p>Плюси: дана система максимально збагачує коріння рослин киснем, водою та поживними речовинами, що є рушійною силою пришвидшеного темпу росту рослин.</p> <p>Мінуси: багато уваги треба приділяти роботі таймера, що регулює подачу води. Для розсіювання поживної речовини використовуються форсунки які схильні до частого засмічення.</p>

Рис. 1. Технології гідропонного вирощування рослин [4]

Гідропонні установки застосовуються для вирощування розсади, овочів, квітів, лікарських рослин, суниці, для виробництва зеленої вітамінної підгодівлі для тварин, а також при культивуванні нижчих рослин.

Рослини вирощуються методом гідропоніки як в теплицях (теплична гідропоніка), так і у відкритих спорудах або під тимчасовими легкими плівковими укриттями (відкрита гідропоніка). Знаходять застосування багатоярусні установки для виробництва зеленого вітамінного корму для тварин, розсади і вигонки цибулі. Розроблено і випускаються баштові конвеєрні теплиці.

Застосовувані нині методи гідропоніки можна розділити на три групи: субстратна культура, водна культура і аеропоніка.

При субстратній культурі коренева система рослин розвивається в твердому середовищі органічного (тирса, торф, сфагновий мох, кора, рисова лушпиння), неорганічного (пісок, гравій, перліт, вермикуліт, цеоліт, керамзит, мінеральна вата) або синтетичного (спінений полістирол, пінополіуретан, мочевино-формальдегідні пінопласти, поліефір, іонообмінні смоли) походження.

Живильний розчин подається періодично краплинною системою або іншими способами зрошення (поверхнєве зволоження, спосіб підтоплення).

Необхідність великої кількості субстрату, періодичної його стерилізації, промивання, регенерації, заміни і застосування досконалої системи крапельного поливання вважаються основними недоліками способу.

В останні роки широко впроваджується виробництво овочів на малооб'ємній гідропоніці, коли на одну рослину приходиться 5-15 л субстрату. Як субстрат використовують верховий сфагновий торф (зі ступенем розкладання до 10 %) і мінераловатні плити. Торфо або мінераловатні плити укладають на поліетиленову плівку, яку попередньо розстеляють на піщану основу. Між ними укладають поліетиленові труби для підігріву субстрату. Кубики з розсадою встановлюють на плити і покривають зверху чорно-білою плівкою [5].

Живильний розчин готується з концентрованих розчинів мінеральних добрив А і Б, один з яких не містить сульфатів і фосфатів, інший – кальцію, а також з 30-37 % -ної азотної або ортофосфорної кислоти і води. Концентровані розчини додають до води у співвідношенні 1:100. Питому електропровідність розчину в ваті підтримують в межах 0,2-0,25 См/м при 25 °С для огірків і 0,25-0,3 См/м для томатів, кислотність – 5,0-6,0. Питому електропровідність і рН живильного розчину в ваті визначають 1-2 рази в тиждень портативними приладами. Повний хімічний аналіз проводять 1-2 рази на місяць [5].

Поливання живильним розчином проводять через автоматичну краплинну систему зрошення. При цьому подача води або живильного розчину виконується безпосередньо до кореневої зони в заданій кількості, що, оптимізуючи водно-повітряний та поживний режим ґрунту, скорочує на 20-30 % витрати води і добрив, зменшує захворюваність рослин і підвищує урожайність на 8-17 %.

Частоту поливань регулюють залежно від інтенсивності сонячної радіації або за вологістю субстрату. При програмному керуванні тривалість поливання становить від 3 до 15 хв, всього циклу – 30 хв, паузи між циклами – 3 хв. Система поливання включається від 5 до 20 разів на день. На початку розвитку рослин частота поливання становить 5 разів по 2 хв. Для дорослих рослин і в літній період витрата розчину на одну рослину збільшується до 5-6 л.

При застосуванні малооб'ємної гідропоніки із системою краплинного поливання скорочуються витрати на будівництво дорогих піддонів. Однак втрати мінеральних добрив і води складають не менше 25 %. [6].

При водній культурі коренева система рослини занурена в живильний розчин, що знаходиться в безперервному русі. Цей метод створює оптимальні умови для росту кореневої системи, що сприяє отриманню високого врожаю вирощуваних культур. При цьому знижується витрата мінеральних добрив, води та енергії. Крім того, застосування цих екологічно чистих технологій стає особливо актуальним у зв'язку з проблемою забруднення навколишнього середовища. Основні недоліки цього способу – швидке погіршення аерації і

можливість зараження розчину патогенними мікроорганізмами. При цьому необхідно строго контролювати концентрацію і реакцію живильного розчину і підтримувати їх в оптимальних межах. Найбільшого поширення набула технологія тонкошарової проточної культури (NFT) [7], система Ейн-Геді [8].



Рис. 1.2. Вирощування рослин за технологією NFT [9]

У ряді господарств рослини вирощують за методом водної культури в трубах з отворами. Живильний розчин подається в них насосами зі збірної ємності протягом 4-5 хв, після чого видаляється і рослини витримуються без розчину протягом 30-40 хв.

При аеропонному методі коренева система розвивається у відкритому просторі при постійному обприскуванні розчином через форсунки. Порівняно з водною культурою коріння рослин повніше забезпечується киснем, однак при цьому потрібна висока надійність роботи обладнання.

Незважаючи на різноманіття гідропонних установок їх принциповою і характерною особливістю є те, що рослини вирощуються без ґрунту на живильних розчинах, до яких ставляться певні вимоги.

1.2. Вплив кислотності та концентрації живильного розчину на врожайність овочевих культур і якість продукції

При вирощуванні рослин гідропонним способом створюються умови для оптимізації забезпечення рослин необхідною кількістю поживних речовин і автоматизації процесу мінерального живлення, що значно підвищує врожайність вирощуваних культур, якість і безпеку продукції.

Найважливішими факторами при гідропонному вирощуванні рослин є кислотність (рН) живильного розчину, а також його концентрація, співвідношення поживних іонів (найпродуктивніші хімічні властивості живильного розчину).

Концентрація живильного розчину має важливе фізіологічне значення, оскільки вона дуже сильно впливає на інтенсивність поглинання корінням поживних речовин, води, на режим транспірації, зміни співвідношення іонів, що поглинаються, а також на випаровування води з вільної поверхні субстрату.

Від концентрації розчину залежить його осмотичний тиск. Він повинен бути значно нижчим осмотичного тиску клітинного соку, оскільки в противному випадку може припинитися поглинання води і мінеральних елементів або відбуватися навіть їх зворотна віддача корінням у зовнішнє середовище.

Між ростом рослин і концентрацією існує висока негативна кореляція (рис. 1.3) [7]. Висока концентрація солей у розчині з одного боку призводить до порушення фізіологічної врівноваженості живильного розчину і живлення, а з іншого - до підвищення його осмотичного тиску і порушення водообміну рослин. При цьому знижується активність кореневої системи, сповільнюється ріст рослин, зменшуються розміри листя. Концентрація розчину відбивається також на пересуванні і розподілі кальцію в рослині, що викликає вершинну гніль плодів.

Внаслідок залежності, яка існує між концентрацією розчину і швидкістю

надходження солей у коріння рослин, сильно розбавлені розчини не забезпечують інтенсивного постачання рослин поживними речовинами. Тому необхідно підтримувати оптимальну концентрацію розчину [5].

При вирощуванні рослин без ґрунту застосовують живильні розчини з концентрацією солей від 1 до 3 г/л. Однак зустрічаються розчини з концентрацією, нижчою 1 г (до 0,6 г), а також вищою 3 г (до 5-6 г) на 1 л.

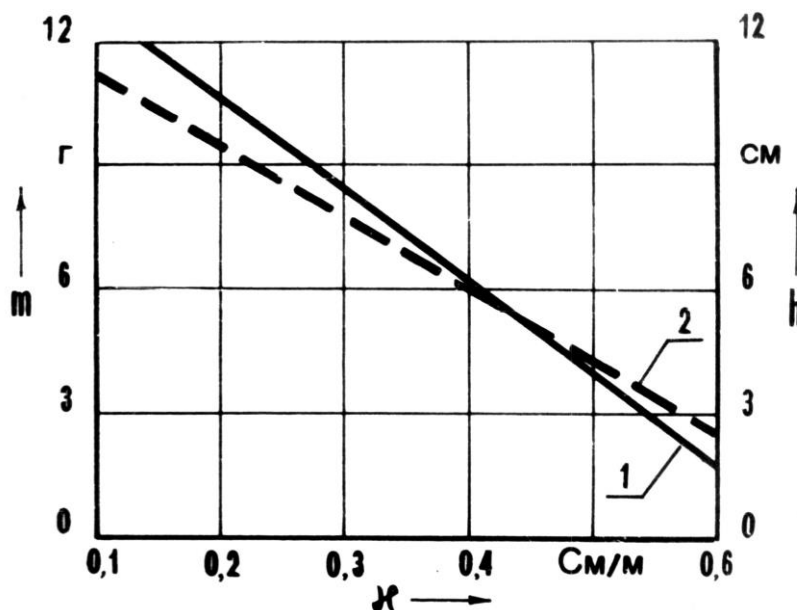


Рис.1.3. Вплив концентрації солей у живильному розчині на загальну сирину масу (1) та висоту розсади (2) огірка [13]

Рядом дослідників [10] встановлена залежність продуктивності рослин огірків і томатів від концентрації живильного розчину. Дослідження показали, що огірок краще росте і плодоносить при вирощуванні на гравії при концентрації живильного розчину 1,6, а томат - 2,2 г/л (рис. 1.3) [10].

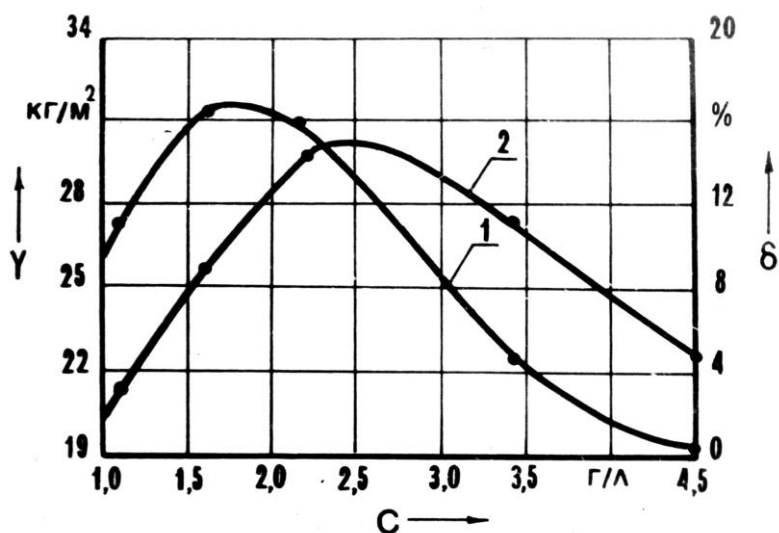


Рис.1.4. Вплив концентрації живильного розчину на врожайність огірків (1) та томатів (2) при їх вирощуванні на гравійному субстраті [10]

Підтримка реакції (pH) живильного розчину в певних межах – одна з найважливіших умов гідропоніки. Реакція живильного розчину впливає на надходження катіонів та аніонів у корені рослин двома способами – прямо і непрямо. У дуже кислому середовищі (pH < 4) іони водню діють на рослини токсично. Вони витісняють зі стану адсорбції всі інші катіони, і замість поглинання можна спостерігати їх виділення з кореня. Висока концентрація іонів водню може пошкодити клітинну оболонку, погіршити фізіологічний стан колоїдів клітини, змінити реакцію клітинного соку, що безпосередньо відбивається на поглинальній здатності коренів. У лужному середовищі (при pH > 8) порушується поглинання рослинами аніонів.

Крім прямої дії на рослини, реакція середовища здійснює непрямий вплив на розчинність солей (рис.1.5) [11].

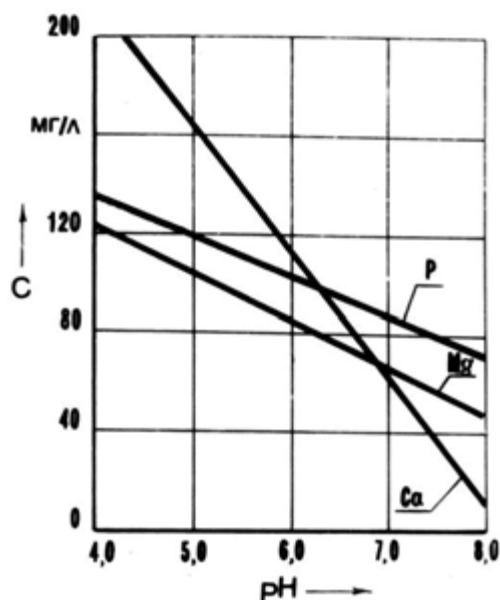


Рис. 1.5. Залежність між рН живильного розчину та вмісту водорозчинних форм фосфору, кальцію та магнію [11]

У лужному середовищі кальцій, марганець і залізо осідають у вигляді солей фосфорної та вугільної кислоти, малодоступних для рослин. При $\text{pH} > 6,5$ погіршується фосфорний режим через утворення нерозчинного $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, засвоювана (двовалентна) форма марганцю окислюється і стає незасвоюємою (чотиривалентною). При $\text{pH} > 8$ залізо переходить в нерозчинні гідроксиди, і рослини хворіють хлорозом.

Оптимальний рН для більшості культур – 5,5-6,5. При гравійній культурі оптимальною реакцією живильного розчину для томатів є рН 5,6-5,8, для огірків – рН 5,8-6, розсади – рН 5,6-6 (рис. 1.6) [10]. При вирощуванні рослин на мінеральній ваті рН живильного розчину підтримують в межах 5,5-6,2 [11].

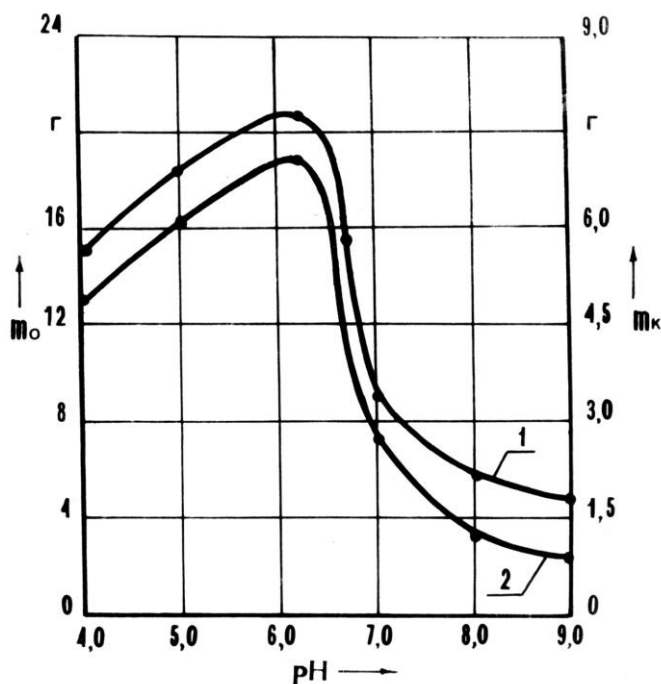


Рис.1.6. Вплив реакції середовища на ріст розсади огірка:
1 – сира маса загальна; 2 – сира маса коренів [10]

У процесі живлення рослини впливають на реакцію живильного розчину, з одного боку, за рахунок виділених коріннями з'єднань (вугільна кислота, нижчі карбонові кислоти) і продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, і з іншого боку - за рахунок різної швидкості, з якою вони засвоюють катіони і аніони розчинних солей. Це призводить до підкислення або підлуження середовища.

Тому необхідно регулярно стежити за величиною рН. У разі підлуження розчину (головна небезпека в гідропонних системах) його слід підкислювати ортофосфорною або азотною кислотою.

Поряд з концентрацією живильного розчину важливо забезпечити в ньому правильне співвідношення основних іонів, оскільки вони в процесі мінерального живлення знаходяться в тісному взаємозв'язку. Тому живильні розчини повинні містити необхідні елементи в таких кількостях і в таких співвідношеннях, які забезпечували б нормальний ріст, розвиток і високу продуктивність рослин.

Живильний розчин може бути готовим до використання (робочим) і концентрованим. Зручніший концентрований розчин. У цьому випадку, щоб

уникнути випадання солей в осад, компоненти розподіляють в два розчини А і Б.

При приготуванні розчину резервуари заповнюють на 75-80 % водою, потім додають кислоту, далі вносять добрива в певній послідовності, кожен раз перемішуючи розчин до повного їх розчинення. Не рекомендується попередньо змішувати добрива та потім розчиняти їх у воді.

Для контролю режиму мінерального живлення рослин у всіх гідропонних технологіях передбачено проведення періодичного аналізу складу живильного розчину і його коригування.

При вирощуванні рослин на мінеральній ваті кілька разів на тиждень визначають рН і концентрацію солей в поливному живильному розчині і субстраті. Якщо відхилення рН не перевищує $\pm 0,2$ одиниці, а концентрації $\pm 0,02$ См/м, їх коригування не проводять. Через два тижні живильний розчин аналізують на вміст основних поживних елементів (NH_4 , NO_3 , К, Са, Mg, Р, Cl, Na), через місяць визначають також вміст в ньому мікроелементів [5].

1.3. Технологічне обладнання для приготування і подачі живильного розчину в гідропонних теплицях

Незважаючи на конструктивну відмінність, все гідропонні установки включають розчинний вузол і обладнання для подачі живильного розчину до рослин. Розчинні вузли призначені для приготування живильного розчину, а також зберігання і коригування його складу. Конструктивно розчинні вузли подібні у всіх гідропонних установках, в той час як обладнання для подачі живильного розчину залежить головним чином від застосовуваної технології вирощування рослин.

Основними елементами установок при вирощуванні рослин на мінеральній ваті є [12]: пристрої для приготування і зберігання концентрованих розчинів мінеральних добрив А і Б і кислоти, змішувальна ємність (або пристрій для змішування розчинів зі змішувальними насосами), насоси-дозатори (або ежекційні змішувачі), фільтри, насоси для подачі робочого розчину, первинні

вимірювальні перетворювачі концентрації і кислотності розчину, головний і розподільний трубопроводи, електромагнітні вентиля для розподілу живильного розчину за секціями, поливні зрошувачі з крапельницями.

Всі розчинні вузли можна розділити на дві групи: вузли, де живильний розчин готується шляхом об'ємного дозування концентрованих розчинів добрив і кислоти пропорційно витраті води, що надійшла в теплицю для поливу рослин; вузли, де живильний розчин готують в змішувальному резервуарі, в якому він зберігається тривалий час.

Вузли першої групи застосовуються в ґрунтових теплицях при підкормці рослин мінеральними добривами, а також при вирощуванні рослин методом малооб'ємної гідропоніки з використанням системи краплинного поливання без рециркуляції живильного розчину. У цих вузлах розчин готується шляхом змішування концентрованих розчинів добрив і кислоти з потоком води. Як дозуючі пристрої використовують насоси-дозатори, регулювальні клапани або інше обладнання, що забезпечує об'ємне дозування компонентів живильного розчину.

Розчинні вузли для приготування живильного розчину при вирощуванні рослин на мінеральній ваті (змішувач ЛКВ 79 фірми "Вольматік", вузли живлення фірми "АГРОТЕРМ Б.В." тощо) містять баки з концентрованими розчинами добрив А і Б та кислотою, звідки компоненти живильного розчину подаються насосами-дозаторами в змішувальну ємність, куди також надходить і підігріта вода. Приготований живильний розчин подається насосом в систему крапельного поливання [12].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ У ЗИМОВИХ ГІДРОПОННИХ ТЕПЛИЦЯХ

2.1 Вибір технологічного обладнання для гідропонного вирощування рослин в теплицях

При гідропонній культурі мінеральне живлення рослин здійснюється за рахунок регулярного подавання спеціально приготовленого живильного розчину до кореневої системи рослин.

При вирощуванні рослин за технологією NFT теплиці забезпечуються лотками або плівковими рукавами для розміщення кореневої системи рослин, резервуарами для приготування і зберігання живильного розчину, насосними установками для його подачі з'єднувальними трубами, дренажними пристроями та іншим обладнанням [13].

Живильний розчин подають у лотки до рослин насосними установками під незначним тиском – 0,3 атмосфери.

При гідропонному вирощуванні овочів значно скорочуються трудомісткі процеси і повністю виключаються роботи, пов'язані з використанням ґрунту, скорочується догляд за рослинами, не застосовуються такі операції, як розпушування ґрунту, поливання і підживлення рослин, внесення органічних добрив. Крім того створюються сприятливі умови для ефективної боротьби з хворобами і шкідниками та економного використання води. Автоматичне живлення поліпшує умови водно-повітряного режиму кореневої системи рослин, виключає багато ручних процесів, що в свою чергу зменшує затрати праці і знижує собівартість вирощеного врожаю.

2.2 Обладнання для створення необхідного мікроклімату в теплиці

Необхідною умовою підвищення ефективності овочівництва, його рентабельності є підтримання заданого мікроклімату в спорудах для

вирощування овочів та розсади. Основними параметрами мікроклімату в теплицях є температура і вологість внутрішнього повітря, його газовий склад, температура і вологість ґрунту.

Для підтримання необхідної температури повітря та субстрату в теплицях застосовують повітряно-водяне опалення. Водяне опалення здійснюється від котельної, розташованої на території комбінату, або від централізованої котельні. Теплоносій транспортується до споживача трубопроводами теплової мережі, прокладених у підземних каналах або безканалним способом, а також над землею на опорах та ін.

Система опалення теплиці містить систему опалення шатра, систему цокольного та торцевого опалення, систему надґрунтового обігрівання, на які приходится відповідно 80 %, 8 % і 15 % витрат енергії.

Повітряний обігрів здійснюється повітряно-водяними калориферами АПВС, які розміщуються в шахматному порядку в торцях кожної секції теплиці (всього 22 калорифера в однокотлярній теплиці).

Система вентиляції – природна, здійснюється фрамугами, які розташовані по коньку теплиці. Привод фрамуг здійснюється за допомогою багатооборотного виконавчого механізму МЭМТ-10, через рейкову систему.

Для створення необхідного вологісного режиму використовується система зволоження і випаровувального охолодження. Система випаровувального охолодження включає магістральні трубопроводи із сталевих труб, колектори – із сталевих оцинкованих труб і зрошувачі – з полімерних труб з розпилювачами.

Системи автоматичного регулювання (САР) параметрів мікроклімату в теплицях:

САР температури повітря забезпечує автоматичне дотримання у теплиці температурних режимів повітря при роботі системи обігрівання і вентиляції.

Діапазон зміни температури у межах 40 °С, точність регулювання ± 1 °С при всіх режимах.

САР компенсує можливі відхилення параметра регулювання відповідно до змін параметрів зовнішнього середовища. Це забезпечується двокаскадною системою регулювання. Перший каскад забезпечує регулювання потрібної для кожного контуру температури теплоносія у системі обігрівання. Він являє собою аналітичну безпошукову самонастроювальну автоматичну систему регулювання температури теплоносія у системі обігрівання за температурою повітря у теплиці. При цьому враховуються метеорологічні умови. Другий каскад забезпечує компенсацію відхилення температури повітря від заданого значення у кожному контурі регулювання.

Для теплиць з комбінованим обігріванням САР виконує трикаскадне регулювання температури повітря. Третій каскад дає змогу за допомогою позиційного регулятора керувати двома групами калориферів системи повітряного обігрівання.

При комбінованому обігріванні перші два каскади працюють у системах шатрового та бокового опалення.

Для підтримання в теплиці заданої температури САР передбачено заміри зовнішніх метеорологічних параметрів. Враховуючи напрямок і швидкість вітру, САР вибирає сторону для відкривання фрамуг з метою вентиляції, а також запобігає відкриванню їх при швидкості вітру понад 7 м/с. Крім того, блоки математичного обробітку інформації дають змогу при зміні рівня освітленості автоматично змінювати температуру повітря в теплиці.

Регулювання температури поливної води. Регулювання температури поливної води здійснюється пропорційним регулятором. Межа регулювання температури води 5...35°C з точністю ± 2 °C. Передбачено систему скиду поливної води при її нагріванні понад 35 °C, а також звукова сигналізація при перевищенні максимально допустимої температури поливної води.

Регулювання адіабатичного зволоження повітря у теплицях. САР передбачає включення системи “Туман” по захисту від перегрівання рослин. Вмикається система за командою від сонячного інтегратора за сумою сонячного випромінювання за 1 годину. Тривалість роботи системи “Туман”

задається агрослужбою або вибирається автоматично. При цьому тривалість роботи системи дорівнює різниці часу між 1 годиною і часом досягнення потрібної суми сонячного випромінювання. Найбільш ефективна робота системи “Туман” у весняно-осінній період року.

2.3 Водопостачання тепличного господарства

Система водопостачання тепличних комбінатів по надійності подачі води відносяться до другої категорії.

Водопостачання здійснюється від артезіанської свердловини. Як регулювальну ємкість застосована уніфікована стальна водонапірна башта БР-25У. Ємкість бака $V_{\text{б.}}=25\text{м}^3$, діаметр бака $D_{\text{б.}}=3\text{м}$, висота ствола $H_{\text{б.}}=15\text{м}$, діаметр ствола $D_{\text{ст.}}=1,22\text{м}$.

Для подачі води зі свердловини застосовується заглибний насос 4ЭЦВ6-6,3-85, який має номінальну подачу $Q_{\text{нас.}}=6,3\text{ м}^3/\text{год}$ і напір $H_{\text{нас.}}=85\text{ м}$ з електродвигуном 7ПЭДВ-2,8-140, $P_{\text{дв.}}=2,8\text{кВт}$.

Станція керування “Каскад” 2,8-0У2 з ящиком керування ЯГ5102-2Г7Б1У2, $P=2,8\text{кВт}$.

2.4 Освітлення теплиці

В теплицях передбачається тільки чергове освітлення проходів. Як джерела світла використовуються люмінесцентні лампи 11ПВЛМ(2x40).

Застосовується щиток освітлення ОЩВ-6.

Переріз проводів вибраний за допустимим струмом.

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{розр.}}, \quad (2.1)$$

де $I_{\text{розр.}}$ – розрахунковий струм схеми освітлення, А.

Застосовується провід АНРГ перерізом $2,5\text{ мм}^2$ ($I_{\text{доп.}}=19\text{ А}$).

2.5. Опромінювальне обладнання

Важливим фактором оточуючого середовища для росту рослин є світло, під дією якого виконується процес фотосинтезу. Зимою і ранньою весною освітленість недостатня, також недостатня кількість енергії, яка знаходиться в природному променевому потоці. Тому використане штучне електричне досвічування, яке скорочує час вирощування розсади на 25...30 днів, і тим самим підвищує ріст та урожайність на 25...30 %.

Розрахунок штучного досвічування проводимо на розсадне відділення теплиці площею 1000 м². Київська овочева фабрика розташована у четвертій світловій зоні: питома потужність опромінення 106 Вт/ м².

Для опромінення використовуються опромінювачі типу УОРТ-15-400 з лампами ДРИ-400.

Для живлення опромінювачів застосовується провід АПВ перерізом 2,5 мм² (I=19А).

2.6 Обладнання для підживлення рослин CO₂

Нині використовується система вуглекислого підживлення рослин каталітично очищеними відхідними газами котельних. Цей спосіб полягає в тому, що відхідні гази, перед подачею їх у теплиці, підлягають каталітичній очистці не тільки від угарного газу, але і від вуглеводнів, бензопірену, окислів азоту.

Відхідні гази проходять через паладірований каталізатор (ВКМ-65), де очищуються від шкідливих домішок, потім забираються із газоходів димососами і подаються по системі магістральних трубопроводів до блоку теплиць. Тривалість підживлення рослин 6...10 годин на добу. Передбачено автоматичне підтримання заданої концентрації CO₂, контроль за наявністю шкідливих домішок в межах ГДК, а також аварійна сигналізація і вимкнення системи.

Ця система використовується також в теплицях, де теплозабезпечення здійснюється від власних котельних з котлами ДКВР, ДЕ, ПТВМ, які працюють на газовому паливі.

2.7. Розрахунок електронавантажень

Для визначення потужності на ввіді в теплицю користуємось методом графіків. Метод графіків передбачає складання технологічного графіка роботи електрообладнання, яке встановлене в теплиці, з показниками значень споживаної потужності, яка визначається за формулою:

$$P_{сп}=(P_n \cdot k_3)/\eta, \text{ кВт}; \quad (2.2)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження;

P_n – номінальна потужність двигуна;

η – ККД двигуна.

Складаємо технологічний графік роботи електрообладнання (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Технологічний графік роботи електрообладнання

Найменування операції.	Тип робочої машини.	Руст., кВт.	η , ККД.	k_3 .	Рспож., кВт.	Час роботи, год.	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Опромінення рослин	ОТ-400	115	-	-	115	6					6-9								17-20
Ел. двигун насоса подачі води	к90/200	7,5	0,88	0,7	5,9	3						9-10	12-13						16-17
Обі-грів повітря теплиці	АПВС-70	135	-	-	118,1	24						0-24							
Освіт-лення примі-щень	-	5,46	-	-	5,46	4					7-9								17-19
Вентиляція теплиць	МЭМТ-10	42	0,8	0,7	36,8	2						10-11			14-15				

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ

3.1. Вузол для приготування живильного розчину

Вузол для приготування живильного розчину в блоці гідропонних теплиць забезпечує приготування живильного розчину двох складів з концентрованих розчинів добрив, кислоти та води в чотирьох змішувальних резервуарах, розташованих в одному блоці теплиць (рис. 3.1).

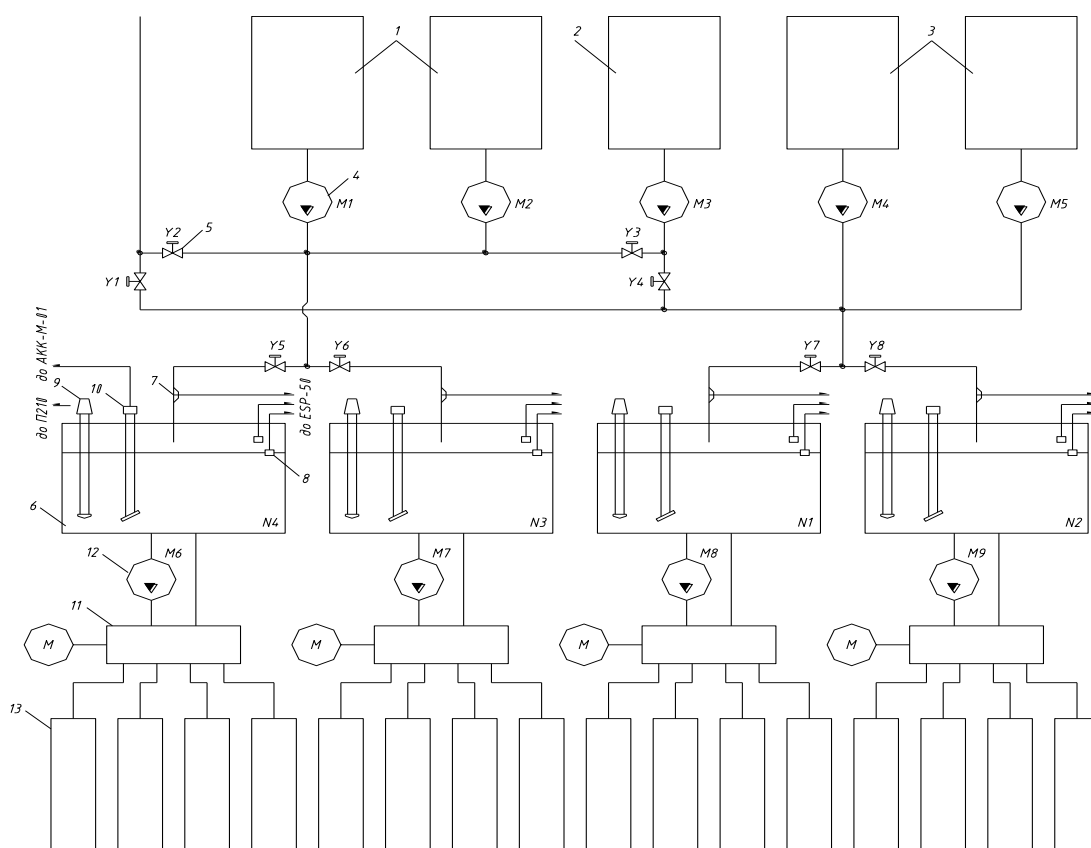


Рис. 3.1. Технологічна схема вузла для приготування живильного розчину в блоці гідропонних теплиць:

- 1 – баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б для огірків; 2 – бак для зберігання кислоти; 3 – баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б для томатів; 4 – насоси – дозатори; 5 – електромагнітні вентиля; 6 – змішувальні резервуари; 7 – датчик потоку; 8 – датчики верхнього та аварійного рівнів розчину; 9 – первинний перетворювач рН; 10 – первинний перетворювач кондуктометра

Розчинний вузол вміщує обладнання для приготування концентрованих розчинів мінеральних добрив, баки для зберігання концентрованих розчинів добрив А та Б, бак для зберігання кислоти, насоси – дозатори концентрованих розчинів добрив, кислоти, електромагнітні вентиля подачі води, кислоти та вмикання резервуарів, а також змішувальні резервуари, розташовані в теплицях.

Технологічний процес приготування живильного розчину відбувається таким чином. Попередньо за рецептами готують концентровані розчини мінеральних добрив. З цією метою добрива засипають у спеціальні баки, обладнані змішувачами, де їх розчинюють у воді протягом 30 хвилин, а потім насосом через фільтр перекачують в баки для зберігання концентрованих розчинів мінеральних добрив об'ємом 4м³. 30% - ну ортофосфорну кислоту заливають у бак для зберігання кислоти.

При приготуванні розчинів кислота та концентровані розчини добрив подаються відповідними насосами – дозаторами в змішувальний резервуар по спеціальному трубопроводі через керовані вентиля, встановлені на ньому. Потім у змішувальний резервуар по тому ж трубопроводі через вентиля поступає вода з водопровідної мережі до його заповнення.

При цьому компоненти живильного розчину подаються у строго встановленій послідовності: кислота, концентровані розчини добрив А та Б, вода. Така послідовність їх подачі запобігає випаданню в осад мінеральних елементів.

Конструктивне виконання розчинного вузла дозволяє здійснювати автоматичне приготування живильного розчину. Приводи насоса – дозатора кислоти НД 2,5-1000/16-К146А та насосів – дозаторів добрив НД 2,5-1600/16-К146А здійснюються електродвигуном АИР100S4, ІМ3014 потужністю 3кВт, використані вентиля є електромагнітними вентилями типу СВМ.

В системі електрообладнання повинно бути передбачено дистанційне та автоматичне керування виконавчими механізмами. При цьому блоки керування повинні виконувати такі функції:

- забезпечити автоматичне приготування живильного розчину з кислоти, концентрованих розчинів добрив та води;
- забезпечувати добір бака водою;
- забезпечити автоматичний контроль кислотності живильного розчину з похибкою, яка не перевищує 0,1 від рН, та його концентрації з похибкою, яка не перевищує 0,1 мСм/см;
- забезпечувати автоматичне регулювання кислотності живильного розчину з точністю $\pm 0,2$ від рН, та його концентрації з точністю $\pm 0,2$ мСм/см;
- забезпечувати контроль за ходом приготування живильного розчину;
- видачу аварійного сигналу та зупинку виконавчих механізмів при відсутності потоку в трубі та перевищенні розчином аварійного рівня в змішувальному баці;
- індикацію на мнемосхемі процесу приготування живильного розчину та аварійних ситуацій.

Для реалізації перелічених операцій у змішувальних резервуарах встановлені первинні перетворювачі кислоти та концентрації, електродні датчики верхнього та аварійного рівня, а на трубопроводі після електромагнітних вентилів - датчики потоку. Датчики верхнього та аварійного рівня, а також датчики потоку під'єднується до триканального електронного реле сигналізатора рівня ESP-50. Для вимірювання кислотності застосовуються промислові рН-метри рН-41 10, а концентрації – промислові кондуктометри КС-1М-7К.

Подача живильного розчину зі змішувального резервуару в теплиці здійснюється насосом.

3.2. Зміна кислотності і концентрації живильного розчину при вирощуванні рослин в теплицях

У процесі вирощування рослин на неорганічних субстратах з

багаторазовим використанням живильного розчину змінюється його кислотність і концентрація, що обумовлено нерівномірним поглинанням рослинами з розчину катіонів та аніонів, а також води, яке залежить від біологічних особливостей культури і факторів зовнішнього середовища, перш за все від інтенсивності сонячної радіації і температурного режиму. Цей процес носить випадковий характер.

Зміна питомої електропровідності розчину при подачі в змішувальний резервуар води представлена на рис. 3.2, крива 1. Для аналітичного опису цієї залежності припустимо, що до живильного розчину об'ємом V_n і концентрацією C_n додали певну кількість води V_e . Кількість речовини в розчині стане рівною

$$C(V_n + V_e) = C_n V_n + C_e V_e, \quad (3.1)$$

де C_e – концентрація мінеральних елементів у воді; C_n – концентрація живильного розчину.

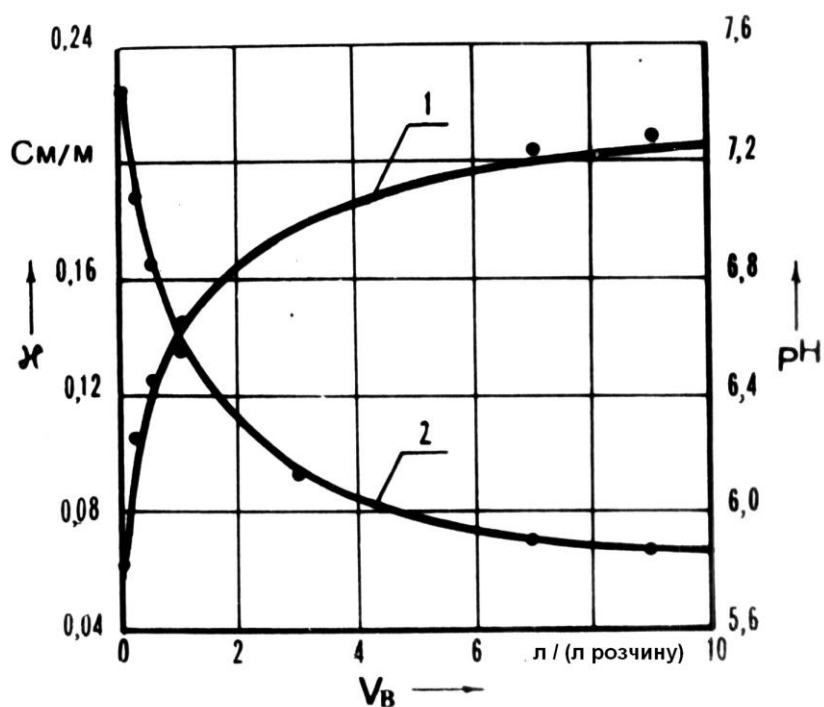


Рис. 3.2. Зміна параметрів живильного розчину при подачі в змішувальний резервуар води:

1 – кислотність; 2 – питома електропровідність

Враховуючи, що

$$C_{\epsilon} = C_{\delta} + C_{\epsilon}, \quad (3.2)$$

де C_{δ} – концентрація добрив у живильному розчині,
отримаємо

$$C(V_n + V_{\epsilon}) = C_{\delta}V_n + C_{\epsilon}(V_{\epsilon} + V_n). \quad (3.3)$$

Звідси

$$C = C_{\delta} + \frac{C_{\epsilon}V_{\epsilon}}{V_n + V_{\epsilon}}, \quad (3.4)$$

або з урахуванням (2.41)

$$K = K_{\epsilon} + \frac{K_n V_n}{V_n + V_{\epsilon}}. \quad (3.5)$$

При $V=1$ л

$$K = K_{\epsilon} + \frac{K_n}{1 + V_{\epsilon}}. \quad (3.6)$$

Для розчину Зонневельда, що застосовується при вирощуванні огірків, ця залежність має вигляд

$$K = K_{\epsilon} + \frac{0,176}{1 + V_{\epsilon}}, \quad (3.7)$$

що підтвердили і експериментальні дослідження.

Дослідження проводили з розчином Зонневельда [128], який послідовно розбавляли водою до співвідношення 1:10. При цьому вимірювали питому електропровідність розчину на лабораторному кондуктометрі КЛ-1.2, а його кислотність – на іономірі И-160М. Температура розчину становила 25 °С. Отримані експериментальні дані обробляли методом найменших квадратів.

Зміну кислотності живильного розчину при подачі в змішувальний резервуар води наведено на рис. 3.2, крива 2. Ця залежність носить нелінійний характер. При розведенні водою розчин підлжується, його рН зростає, наближаючись до значення рН води. Отримана залежність апроксимується рівнянням

$$pH = -\lg\left(3,2 \cdot 10^{-8} + \frac{1,35 \cdot 10^{-6}}{1 + 6,22V_e}\right), \quad (3.8)$$

де $3,2 \cdot 10^{-8}$ – активність іонів водню у воді.

Таким чином, проведені дослідження показали, що живильний розчин має тенденцію до підлужування, отже його кислотність необхідно коригувати додаванням ортофосфорної або азотної кислоти. Концентрацію розчину необхідно регулювати додаванням концентрованих розчинів мінеральних добрив.

3.3. Дослідження зміни параметрів живильного розчину при подачі в змішувальний резервуар кислоти і розчинів добрив

При подачі в змішувальний резервуар концентрованих розчинів мінеральних добрив і кислоти змінюється концентрація живильного розчину і, отже, його питома електропровідність, а також кислотність (рН). Для з'ясування характеру зміни параметрів живильного розчину при впливі зазначених факторів були проведені відповідні експериментальні дослідження.

Дослідження зміни параметрів живильного розчину при подачі концентрованих розчинів добрив проводилися з живильним розчином Зонневельда для огірків [128]. Концентровані розчини добрив А і Б містили мінеральні елементи в концентрації, що перевищує в 100 разів їх концентрацію в робочому розчині. Концентровані розчини добрив відбирали піпеткою об'ємом 1 мл і додавали до 1 л води. Кількість доданих концентрованих розчинів змінювали від 0 до 10 мл. При цьому вимірювали питому електропровідність розчину на кондуктометрів КЛ-1.2, а кислотність – на іонімірі И-160М. Дослідження проводили при постійній температурі розчину, що дорівнює 25 °С.

При знятті кривих титрування води 30 % -ною ортофосфорною і 30 %-ною азотною кислотою використовували блок автоматичного титрування БАТ-15 з

бюреткою, ціна поділки якої становить 0,02 мл. Кислоту додавали до 1 л води. При цьому вимірювали значення питомої електропровідності і рН розчину. Температуру розчину підтримували постійною (25 °С).

Отримані експериментальні дані обробляємо методом найменших квадратів за відомими методиками [83].

Зміну питомої електропровідності κ при додаванні концентрованого розчину добрив до 1 л води наведено на рис. 3.6, крива 1. Ця залежність має лінійний характер і описується рівнянням:

$$\kappa = \kappa_0 + A_{11}V_y \quad (3.9)$$

де V_y – подача маточного розчину, мл/л; A_{11} – коефіцієнт, $\text{См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{мл}^{-1} \cdot \text{л}$. Для розчину Зонневельда для огірків він становить $0,0176 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{мл}^{-1} \cdot \text{л}$.

Коефіцієнт A_{11} залежить від хімічного складу розчину. Він визначається за рівнянням (2.38):

$$A_{11} = 0,1 \sum_i^n B_i C_i, \quad (3.10)$$

де C_i – концентрація солі в рецепті живильного розчину, мг/л.

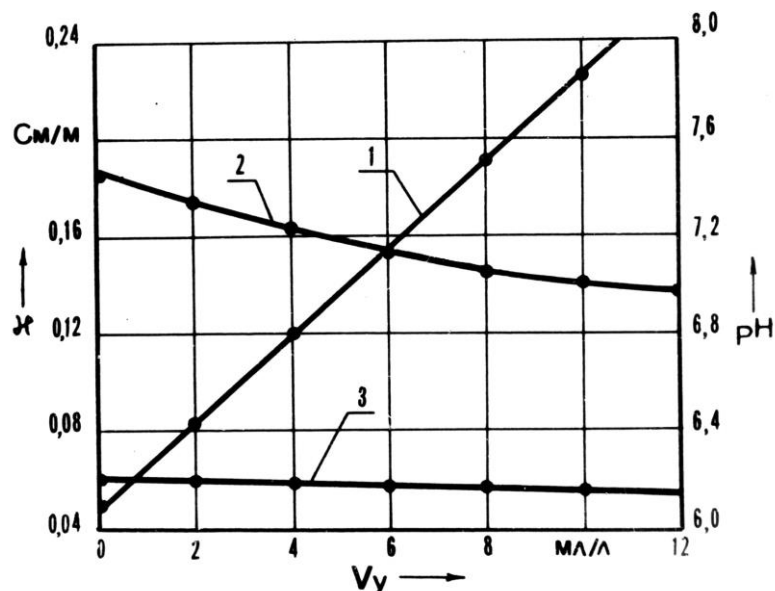


Рис. 3.3. Зміна параметрів живильного розчину при подачі концентрованих розчинів добрив:

1 – питома електропровідність; 2 – рН (водопровідна вода); 3 – рН (водопровідна вода, підкислена до рН 6,2)

Зміна питомої електропровідності розчину при титруванні 1 л води 30 %-ним розчином ортофосфорної кислоти наведена на рис. 3.4, крива 1, а 30 %-ним розчином азотної кислоти – на рис. 3.4, крива 2. Ці залежності є кривими кондуктометричного титрування води кислотою.

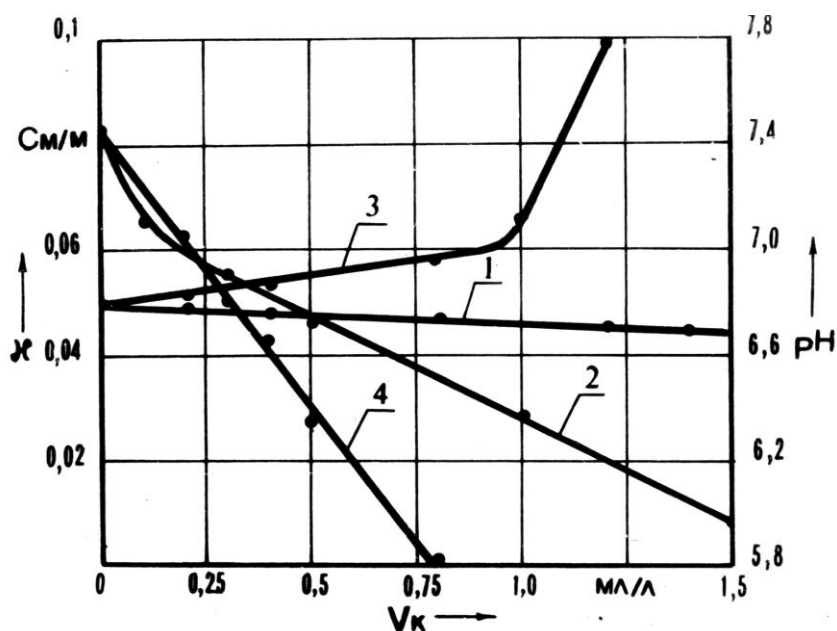


Рис. 3.4. Зміна параметрів живильного розчину при подачі 30%-го розчину ортофосфорної (1,2) і азотної (3,4) кислоти:

1,3 – питома електропровідність; 2,4 – рН

Початкова ділянка кривої кондуктометричного титрування є робочою. Йому відповідає реакція нейтралізації бікарбонатів. При додаванні ортофосфорної кислоти питома електропровідність розчину не суттєво зменшується внаслідок утворення в результаті реакції менш рухливих іонів, а при подачі азотної кислоти – повільно зростає. На робочій ділянці зберігається лінійна залежність між питомою електропровідністю κ і подачею кислоти:

$$\kappa = \kappa_0 + A_{12} V_{\kappa}, \quad (3.9)$$

де κ_0 – питома електропровідність води, См/м; V_{κ} – подача кислоти, мл/л; A_{12} – коефіцієнт, См·м⁻¹·мл⁻¹·л. Його значення для 30 %-ної ортофосфорної

кислоти становить $A_{I2} = -0,003 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{мл}^{-1} \cdot \text{л}$; а 30 %-ної азотної кислоти – $A_{I2} = 0,011 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{мл}^{-1} \cdot \text{л}$.

Злом на кривих кондуктометричного титрування відповідає точці еквівалентності, яка характеризує закінчення реакції. Після досягнення точки еквівалентності питома електропровідність зростає, що обумовлено розчиненням у воді кислоти.

Вода, яка використовується для приготування живильного розчину, має слабо ужну реакцію (рН більше 7) із-за вмісту в ній бікарбонатів. Наявність аніонів слабкої вугільної кислоти обумовлює її буферність, яка перешкоджає різкій зміні реакції середовища під зовнішнім впливом.

Для встановлення необхідної реакції живильного розчину воду при його приготуванні попередньо підкислюють ортофосфорною або азотною кислотою. При цьому нейтралізують не всі бікарбонати, щоб зберегти буферність розчину.

Залежність рН живильного розчину від подачі кислоти є кривою потенціометричного титрування. Вона може бути розділена на три ділянки, які відрізняються між собою темпом зміни рН на одиницю кислоти, яка додається. Початкова ділянка кривої титрування відповідає реакції нейтралізації бікарбонатів і є робочою (рис. 3.4). Залежність рН від подачі кислоти у межах 0–0,8 мг/л можна апроксимувати лінійною залежністю:

$$pH = 7,45 + D_{22}V_k, \quad (3.12)$$

де V_k – подача кислоти, мг/л; D_{22} – коефіцієнт, од.рН·мг⁻¹·л. Коефіцієнт D_{22} для азотної кислоти дорівнює 2,09 од.рН·мг⁻¹·л.

Аналогічно для ортофосфорної кислоти в діапазоні подачі 0,3–1,5 мг/л

$$pH = 7,11 + D_{22}V_k. \quad (3.13)$$

Значення коефіцієнта $D_{22} = 0,78$ од.рН·мг⁻¹·л.

Як впливає із залежностей (3.12) та (3.13), плавніше регулювання величини рН забезпечує використання ортофосфорної кислоти.

Друга ділянка кривої титрування характеризує проходження реакції поблизу точки еквівалентності. На цій ділянці незначне додавання кислоти

викликає різку зміну рН. Тому в системі автоматичного регулювання кислотності не можна допускати перерегулювання.

Третя ділянка кривої титрування характеризується збільшенням концентрації іонів водню внаслідок дисоціації кислоти. На цій ділянці залежність рН від подачі кислоти описується рівняннями:

для азотної кислоти

$$pH = -\lg(2,37 \cdot 10^{-3} + 1,32 \cdot 10^{-3} V_{\kappa}); \quad (3.14)$$

для ортофосфорної кислоти

$$pH = -\lg(-1,28 \cdot 10^{-3} + 7,28 \cdot 10^{-4} V_{\kappa}). \quad (3.15)$$

Солі та добрива при гідролізі також можуть підкислювати або підлужувати розчин. У результаті експериментальних досліджень було встановлено, що в діапазоні концентрацій 0–1 г/л при гідролізі аміачної, кальцієвої, калійної селітри, сірчаноокислого калію і магнію рН розчину практично не змінюється, тоді як однозаміщений фосфат калію та суперфосфат простий при гідролізі підкислюють живильний розчин. Зміна рН розчинів при гідролізі солей та добрив наведено на рис. 3.5. Ця залежність описується рівнянням:

$$pH = -\lg(a_{H^+}^B + d_i C_i), \quad (3.16)$$

де $a_{H^+}^B$ – активність іонів водню в розчині, г-іон/л; C_i – концентрація солі в розчині, г/л, d_i – коефіцієнт, г-іон/г. Для суперфосфату простого коефіцієнт d_i становить $1,1 \cdot 10^{-7}$ г-іон/г, для однозаміщеного фосфату калію $1,86 \cdot 10^{-7}$ г-іон/г.

При додаванні до води концентрованого розчину мінеральних добрив (розчин Зонневельда) рН зменшується, оскільки до його складу входить однозаміщений фосфат калію (рис. 3.5, крива 2). Залежність активності іонів водню від подачі концентрованого розчину лінійна, при цьому

$$pH = -\lg(a_{H^+}^B + 6,74 \cdot 10^{-9} V_y), \quad (3.17)$$

де V_y – подача концентрованого розчину, мл/л.

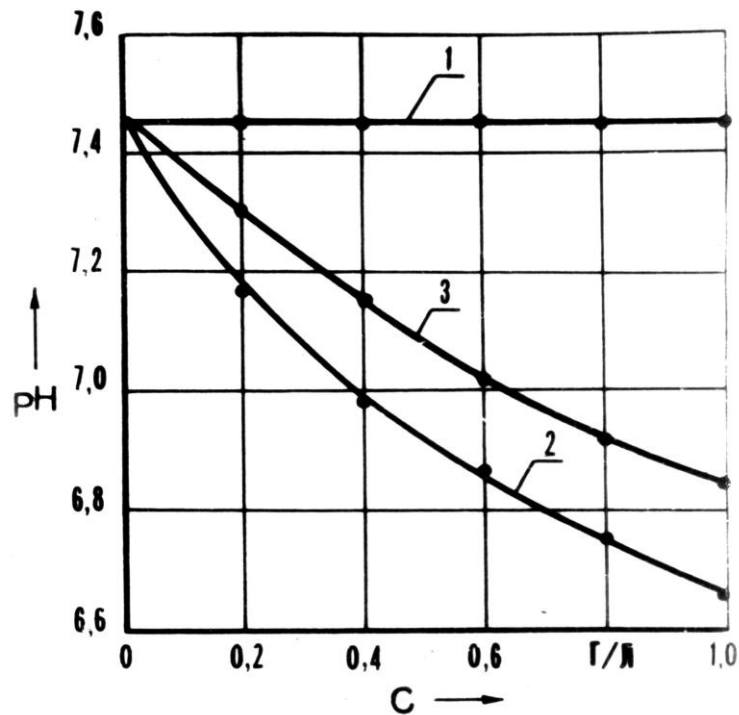


Рис. 3.5. Зміна рН при гідролізі солей і добрив:

- 1 – аміачна, кальцієва, калійна селітра, сірчаноокислий калій і магній, 2 – однозаміщений фосфат калію, 3 – суперфосфат простий

Як випливає з графіка, встановити задане значення кислотності розчину лише за рахунок гідролізу солей неможливо, тому необхідно попередньо воду підкислювати кислотою.

Якщо воду попередньо підкислити кислотою, то при подачі концентрованих розчинів добрив рН змінюється неістотно (рис. 3.6). Залежність рН розчину при додаванні концентрованого розчину добрив у воду, підкислену до рН 6,2, представлено на рис.3.1, крива 3:

$$pH = 6,2 - D_{21}V_y, \quad (3.18)$$

де D_{21} – коефіцієнт, рівний $-0,004$ од. рН мл^{-1} л.

Таким чином, проведені дослідження зміни параметрів живильного розчину при подачі в змішувальний резервуар концентрованих розчинів мінеральних добрив, кислоти і води дозволили визначити принципи регулювання кислотності і концентрації живильного розчину, а також передатні коефіцієнти об'єкта управління за вказаними каналами регулювання.

Кислотність (рН) живильного розчину необхідно регулювати, додаючи кислоту. При цьому його питома електропровідність змінюється неістотно (при використанні ортофосфорної кислоти не більше 0,004 См/м, азотної – 0,01 См/м).

Концентрацію живильного розчину необхідно регулювати за величиною його електропровідності, додаючи концентровані розчини мінеральних добрив. Додавання концентрованих розчинів мінеральних добрив при попередньому підкисленні води не викликає істотної зміни величини рН (не більше 0,05 од.рН).

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ

4.1. Дослідження об'єкта керування

Для аналітичного описання резервуара з живильним розчином як об'єкта керування скористуємося рівнянням матеріального балансу, який заснований на законі збереження маси речовини:

$$V \frac{dC_i}{dt} = \sum Q_i, \quad (4.1)$$

де C_i - концентрація речовини в розчині;

V - об'єм розчину;

$\sum Q_i$ - подача речовини в резервуар.

У розглянутому випадку можна розглядати перехідний процес при постійному об'ємі, так як перед коригуванням живильного розчину резервуар добирається водою до верхнього рівня, а подача кислоти і мінеральних добрив змінюють об'єм бака неістотно.

Із рівня матеріального балансу випливає, що зміна концентрації розчину при ідеальному змішуванні:

$$V \frac{dC_{\Sigma}}{dt} = C_y G_y + C_k G_k, \quad (4.2)$$

де C_{Σ} - загальна концентрація живильного розчину;

C_y, C_k – концентрація відповідно маточного розчину добрив і кислоти, г/л;

G_y, G_k – подача розчину добрив і кислоти в змішувальний резервуар, м³/с.

Враховуючи, що питома електропровідність живильного розчину зв'язана з його загальною концентрацією залежністю

$$\alpha = B \cdot C_{\Sigma}, \quad (4.3)$$

де B – коефіцієнт, який залежить від хімічного складу розчину,

в операторній формі при нульових початкових умовах вираз (3.8) можна записати

$$p\alpha = K_{11}G_y + K_{12}G_k, \quad (4.4)$$

де $K_{11} = \frac{B \cdot C_y}{V}$, $K_{12} = \frac{B \cdot C_k}{V}$ - коефіцієнт передачі об'єкта керування,

які відповідно складають при використанні розчину Зонневельда і 30%-ної ортофосфорної кислоти $0,147 \text{ См} \cdot \text{м}^{-4}$ і $0,025 \text{ См} \cdot \text{м}^{-4}$.

У розглянутій системі неминуче буде виникати запізнювання, яке характеризується часом τ , необхідним для проходження живильного розчину від розчинного вузла до змішувального резервуара (транспортне запізнювання), а також для встановлення рівноваги внаслідок перемішування розчину.

Таким чином, передатну функцію об'єкта керування можна апроксимувати послідовно включивши інтегруючу та запізнювальну ланку:

$$W_{11}(p) = \frac{K_{11}}{p} e^{-p\tau_{11}}, \quad (4.5)$$

$$W_{12}(p) = \frac{K_{12}}{p} e^{-p\tau_{12}}. \quad (4.6)$$

Аналогічно можна отримати модель динаміки кислотності розчину в змішувальному резервуарі при ідеальному змішуванні

$$p(\Delta pH) = K_{21}G_{\dot{o}} + K_{22}G_k, \quad (4.7)$$

де K_{21} і K_{22} - коефіцієнти передачі, які для розчину Зонневельда і 30%-ної ортофосфорної кислоти відповідно складають $-0,033 \text{ од.рН} \cdot \text{м}^{-3}$ і $-6,5 \text{ од. рН} \cdot \text{м}^{-3}$

Враховуючи транспортне і ємкісне запізнювання, яке існує в системі, передатні функції змішувального бака по каналу регулювання кислотності

$$W_{21}(p) = \frac{K_{21}}{p} e^{-p\tau_{21}}, \quad (4.8)$$

$$W_{22}(p) = \frac{K_{22}}{p} e^{-p\tau_{22}}. \quad (4.9)$$

Дослідження зміни параметрів живильного розчину показало, що на величину питомої електропровідності подача кислоти істотного впливу не має. У той же час при попередньому підкисленні води на значення рН не має істотного впливу подача концентрованих розчинів добрив. Тому двосторонніми перехресними зв'язками можна знехтувати і розглядати регулювання як незв'язне, при цьому статична похибка, викликана наявністю перехресних зв'язків, не перебільшує похибки первинних перетворювачів.

Визначення алгоритмів функціонування в цій системі може бути виконано незалежно один від одного в двох одноконтурних системах за передатними функціями об'єкта $W_{11}(p)$ і $W_{22}(p)$.

Час чистого запізнювання визначався експериментально за імпульсними перехідними характеристиками об'єкта керування (рис.4.1). Час чистого запізнювання за каналом регулювання кислотності складає 528 с, за каналом регулювання концентрації – 1284 с.

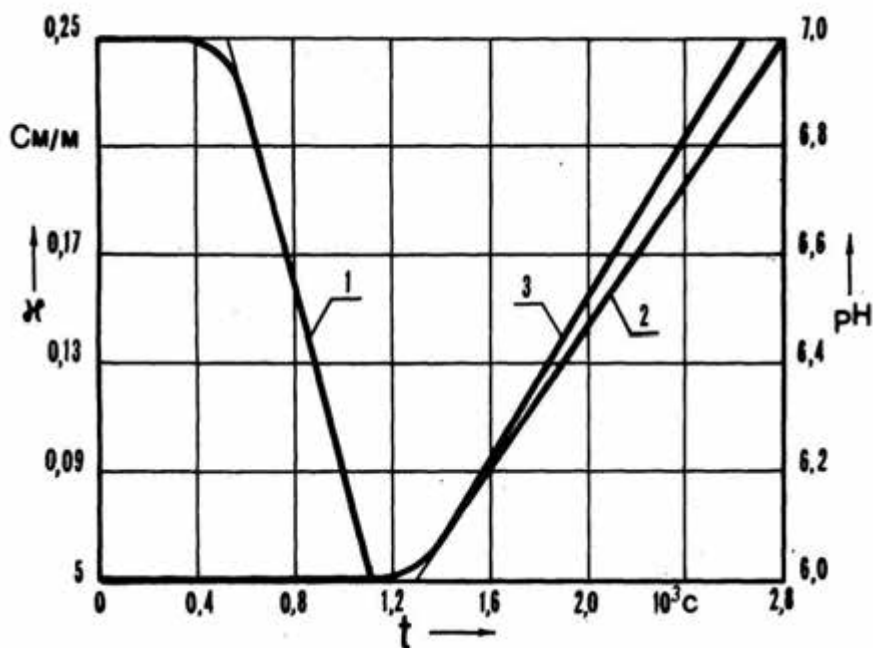


Рис. 4.1. Перехідні характеристики об'єкта керування:

- 1 – за каналу регулювання кислотності розчину;
- 2 – за каналом регулювання концентрації розчину при вирощуванні огірків;
- 3 – за каналом регулювання концентрації розчину при вирощуванні томатів

4.2 Розробка і дослідження системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину

На основі проведених досліджень об'єкта керування була розроблена функціональна схема системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину, яка показана на рис. 4.2.

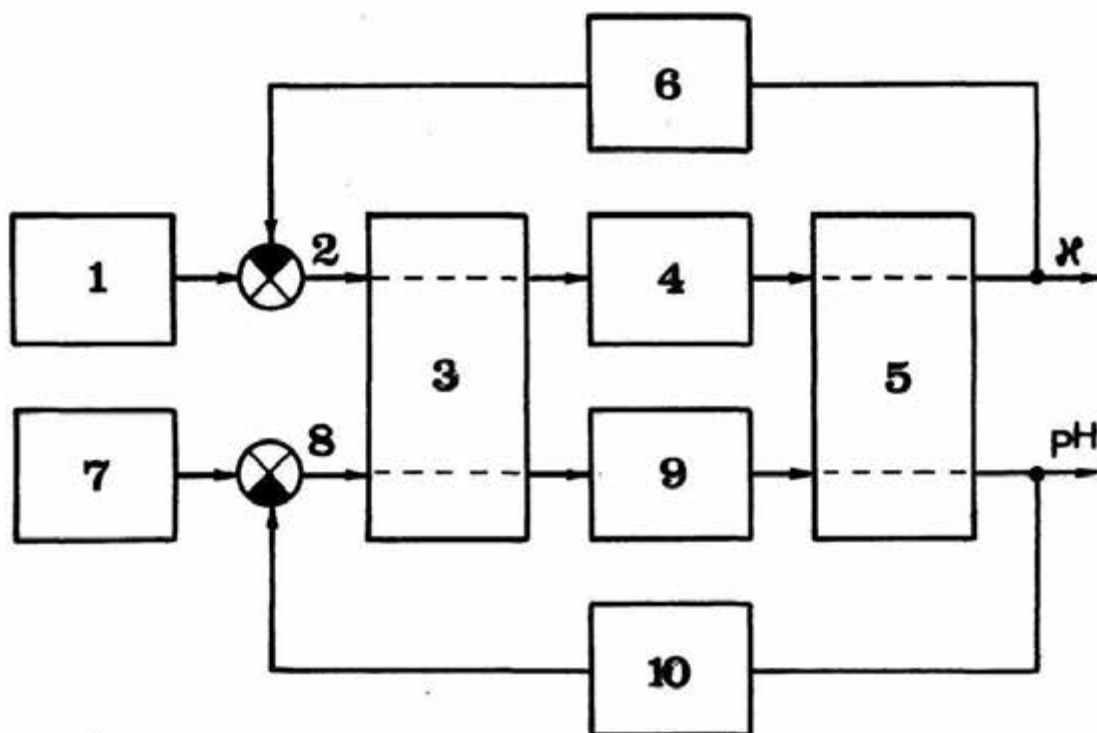


Рис. 4.2. Функціональна схема автоматичного регулювання параметрів живильного розчину:

- 1,7 – задавачі;
- 2,8 – пристрої порівняння;
- 3 – керуючий пристрій;
- 4,9 – виконавчі механізми;
- 5 – об'єкт керування;
- 6 – кондуктометр;
- 10 – рН-метр.

Кислотність у змішувальному резервуарі 5 вимірюється рН-метром 10, сигнал від якого поступає на вихід пристрою порівняння 8. Керуючий пристрій 3 формує команду керування виконавчим механізмом 9. Якщо значення

кислотності розчину більше заданого, включається в роботу насос-дозатор кислоти і подає в змішувальний резервуар 5 кислоту до тих пір, доки рН не досягне заданого значення.

Питома електропровідність розчину в змішувальному резервуарі 5 вимірюється кондуктометричним концентратоміром 6. сигнал від якого поступає на вхід пристрою порівняння 2. Керуючий пристрій 3 формує команду керування механізмами 4. Якщо значення концентрації розчину менше заданого, включаються в роботу насоси-дозатори добрив, які подають у змішувальний резервуар 5 концентровані розчини мінеральних добрив до тих пір, доки значення питомої електропровідності не досягне заданого значення.

Для створення алгоритмічної структури схеми системи автоматичного регулювання необхідно виконати математичне описання кожної її ланки і знайти їх передаточні функції.

Експериментальні розгінні характеристики кондуктометра і рН-метра показані відповідно на рис. 4.3 і рис.4.4.

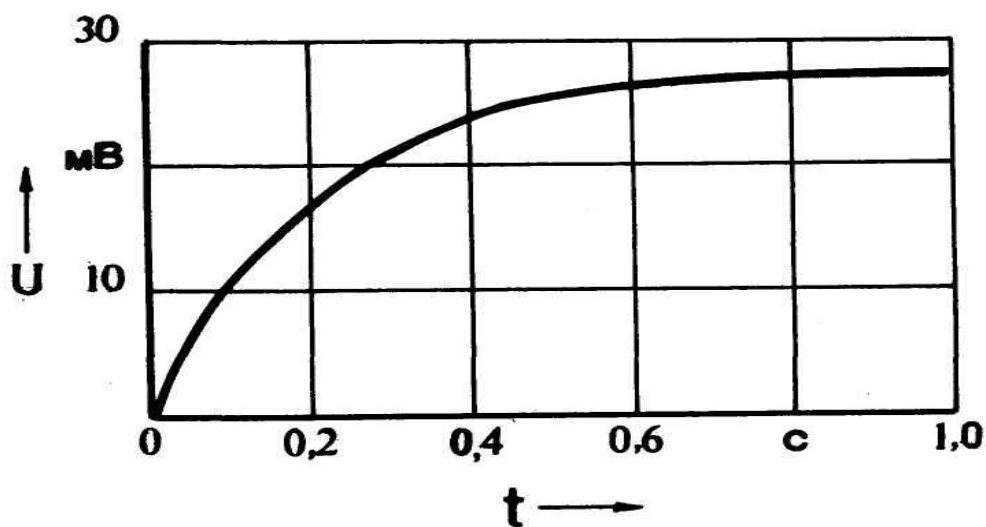


Рис. 4.3. Розгінна характеристика кондуктометричного концентратоміра

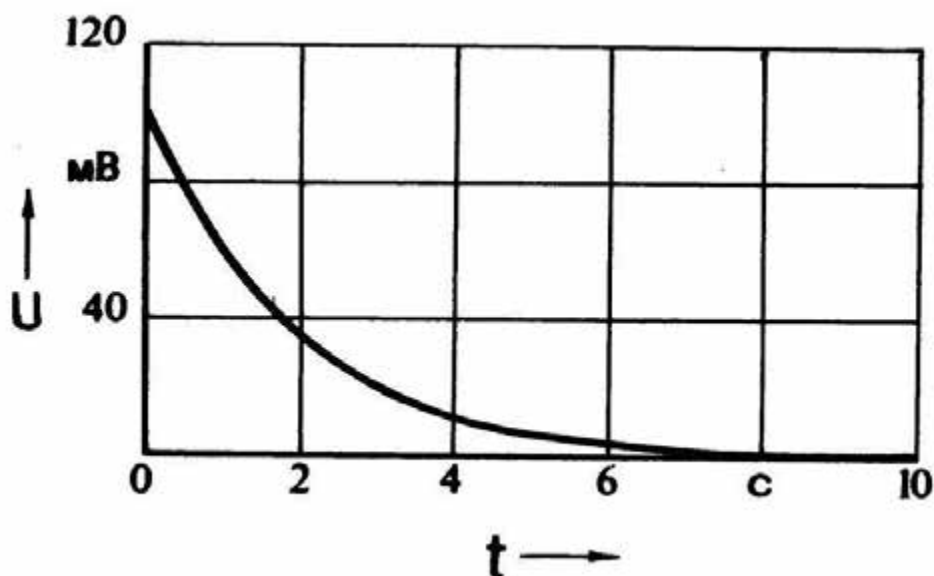


Рис. 4.4. Розгінна характеристика промислового рН-метра

За розгінними характеристиками були визначені передаточні функції кондуктометра:

$$W_{nn1}(p) = \frac{10}{0,2p + 1} \quad (4.10)$$

і рН-метра:

$$W_{nn2}(p) = \frac{20}{1,82p + 1} \quad (4.11)$$

У зв'язку з тим, що час чистого запізнювання об'єкта керування на кілька порядків вище сталих часу первинних перетворювачів, то останніми можна знехтувати. Тоді передатні функції первинних перетворювачів

$$W_{nn}(p) = K_{nn} \quad (4.12)$$

Аналогічно можна знехтувати сталими часу виконавчих механізмів, а їх передатну функцію апроксимувати безінерційною ланкою

$$W_{nn}(p) = K_{вм} \quad (4.13)$$

де $K_{вм} = \frac{\Delta G}{\Delta U}$ – коефіцієнт передачі.

Для насоса-дозатора кислоти він становить $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{В} \cdot \text{с}$; для насосів-дозаторів добрив – $4,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{В} \cdot \text{с}$.

Тоді передатна функція об'єкта керування спільного з виконавчим механізмом та первинним перетворювачем має вигляд:

$$W(p) = \frac{K_{\text{в.м}} K_{\text{оу}} K_{\text{нн}}}{p} \times e^{-p\tau}. \quad (4.14)$$

У зв'язку з тим, що об'єкт характеризується великим часом запізнювання як за каналом концентрації, так і рН, а також необхідністю окремої подачі компонентів, живильного розчину у встановленій послідовності: кислота, концентровані розчини А і Б, вода, найбільш прийнятним є імпульсний закон регулювання.

Релейно-імпульсний регулятор являє собою послідовно з'єднані нелінійний елемент, найпростіший імпульсний елемент та формуюче коло. Передатна функція формуючого кола при прямокутній формі імпульсів має вигляд:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1 - e^{-ps}}{p}, \quad (4.15)$$

де s - тривалість імпульсу.

Рівняння нелінійних імпульсних систем, алгоритмічна схема яких приведена на рис. 4.5, складається з:

- рівняння нелінійного елемента

$$X_1(t) = \begin{cases} Unpu / x(t) / > \gamma \\ 0npu / x(t) / \leq \gamma \end{cases}, \quad (4.16)$$

де γ - зона нечутливості регулятора;

- найпростішого імпульсного елемента;

$$X_2(t) = \delta(t) = \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} \delta(t - mT), \quad (4.17)$$

де T - інтервал квантування по часу;

- формуючого кола

$$X_3(t) = \begin{cases} 1; 0 \leq t < S \\ 0; S \leq t < \infty \end{cases}; \quad (4.18)$$

- об'єкта керування з виконавчим механізмом

$$y_{\text{вих}}(t) = K_{\text{в.м}} K_{\text{оу}}(t - \tau); \quad (4.19)$$

та умови замикання

$$x(t) = x_3(t) - K_{\text{нн}} y_{\text{вих}}(t). \quad (4.20)$$

На основі рівнянь (4.17), (4.18), (4.19) одержуємо рівняння відносно вихідної величини в дискретності моменту часу $t=mT$:

$$y_{\text{вих}}(mT) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} K_{\text{в.м}} K_{\text{оу}}(m - m_{\tau}) s U \quad (4.21)$$

де $m_{\tau} = \left\lfloor \frac{\tau}{T} \right\rfloor$

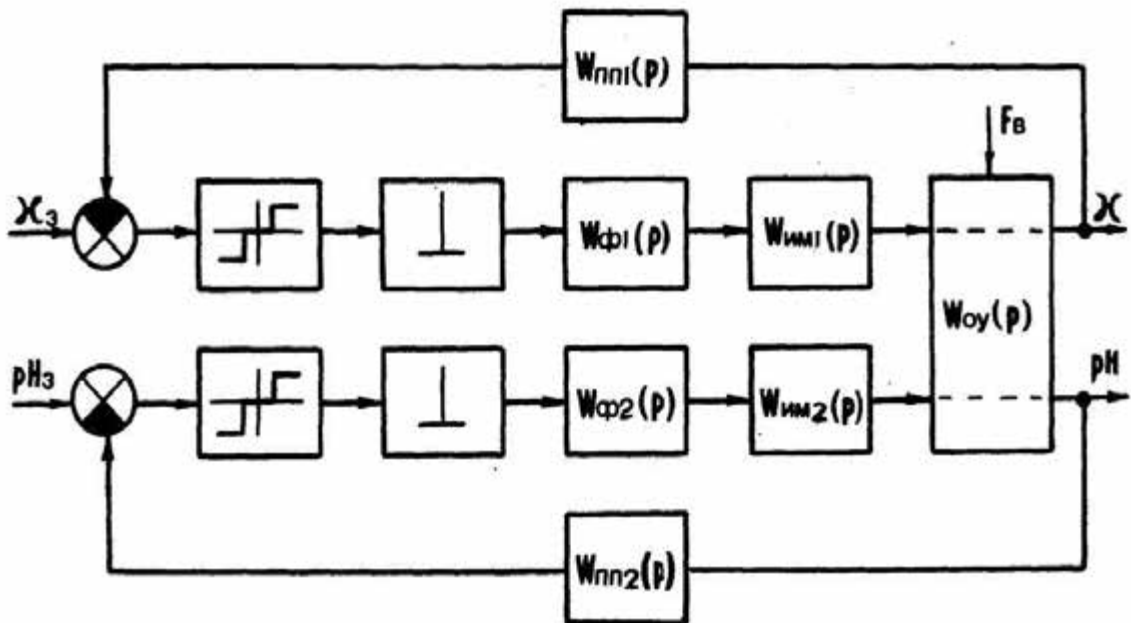


Рис. 4.3. Функціонально-алгоритмічна схема системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину

За показник якості при оптимізації системи автоматичного регулювання кислотності і концентрації живильного розчину приймаємо сумарне квадратичне відхилення:

$$I = \sum_{m=0}^{\infty} (y - y_3)^2 \quad (4.22)$$

при обмеженні

$$|y - y_3| \leq \Delta.$$

Для даної системи автоматичного регулювання

$$I = \sum_{m=m_3}^{\infty} (y - y_3)^2 + \sum_{m=m_y}^{\infty} \Delta^2, \quad (4.23)$$

$$I = \sum_{m=m_3}^{m_y} [(m - m_y) K_{\text{ВМ}} K_{\text{ОК}} U_S \pm \Delta]^2 + \sum_{m=m_3}^{\infty} \Delta^2 \quad (4.24)$$

Взявши частинну похідну $\frac{\partial I}{\partial S}$ і прирівнявши її до нуля, знаходимо

формулу для визначення тривалості імпульсу:

$$s = \pm \frac{\Delta}{K_{\text{в.м}} K_{\text{о.у}} U}. \quad (4.25)$$

За формулою (4.25) були знайдені значення тривалості імпульсів регуляторів для системи автоматичного регулювання кислотності та концентрації живильного розчину при вирощуванні огірків та помідорів, які відповідно становлять 111 с, 153 с і 135 с.

Передатна функція лінійної частини

$$W_{\Lambda}(p) = \frac{K_{\Sigma}}{p^2} (1 - e^{-ps}) e^{-p\tau} \quad (4.26)$$

Дискретну передатну функцію лінійної частини одержуємо з передатної функції неперервної частини шляхом D-перетворення:

$$W^*(p) = \frac{K_{\Sigma} T e^{p(\tau-T)}}{(e^{pT} - 1)^2} - \frac{K_{\Sigma} T e^{p(\tau-T-S)}}{(e^{pT} - 1)^2} \quad (4.27)$$

звідки

$$W^*(j\omega) = \frac{K_{\Sigma} T e^{j\omega(\tau-T)}}{(e^{j\omega T} - 1)^2} - \frac{K_{\Sigma} T e^{j\omega(\tau-T-S)}}{(e^{j\omega T} - 1)^2} \quad \text{де} \quad (4.28)$$

$$\text{Re}^*(\omega) = \frac{K_{\Sigma} T}{\cos \omega T - 1} \sin \omega \left(\tau + \frac{S}{2} \right) \sin \omega \frac{S}{2} \quad (4.29)$$

$$\operatorname{Im}^*(\omega) = \frac{K_{\Sigma} T}{\cos \omega T - 1} \sin \omega \frac{S}{2} \cos \omega \left(\tau + \frac{S}{2} \right) \quad (4.30)$$

Коефіцієнт статичної лінеаризації лежить у межах

$$0 \leq K_C \leq \frac{U}{\gamma} \quad (4.31)$$

Коефіцієнт динамічної лінеаризації дорівнює нулю.

Умова абсолютної стійкості системи, яка має дискретну передатну функцію лінійної частини записується у вигляді нерівності

$$\operatorname{Re}^*(\omega) > -\frac{1}{K_{\text{смак}}} \quad \text{при} \quad \operatorname{Im}^*(\omega) = 0 \quad \text{і} \quad 0 \leq \omega \leq \frac{\omega_0}{2}, \quad (4.32)$$

де ω_0 – частота квантування по часу.

Тоді після перетворень отримаємо:

$$\frac{T}{S} \sin \frac{\pi S}{2(2\tau + S)} + \cos \frac{\pi T}{2\tau + S} - 1 \leq 0 \quad (4.33)$$

Розв'язки нелінійної нерівності (4.33) будуть визначати область значень T , при яких зберігається умова абсолютної стійкості системи.

Інтервал квантування по часу визначаємо, виходячи з необхідності окремої подачі кислоти, концентрованих розчинів добрив і води, одночасно регулювання параметрів живильного розчину у двох резервуарах та з урахуванням часу, необхідного для пуску та зупинки виконавчих механізмів:

$$T_p = 2(2s_y + s_k + s_e + t_{в.м}), \quad (4.34)$$

де s_y - тривалість імпульсів подачі концентрованих розчинів добрив;

s_k - тривалість імпульсу кислоти;

s_e - тривалість подачі води;

$t_{в.м}$ - час, необхідний для пуску та зупинки виконавчих механізмів; $t_{в.м} = 60$ с.

Розрахункове значення T_p становить при вирощуванні огірків 1126 с, помідорів – 1062 с.

Приймаємо значення інтервалу квантування по часу 1140 с, яке лежить у межах визначеної області стійкості параметра.

Амплітудно-фазні частотні характеристики лінійної частини в інтервалі частоти від 0 до $\omega_0/2$ для систем автоматичного регулювання кислотності та концентрації живильного розчину. приведені на рис. 4.4. Як видно з цих характеристик, системи автоматичного керування параметрів живильного розчину мають абсолютну стійкість.

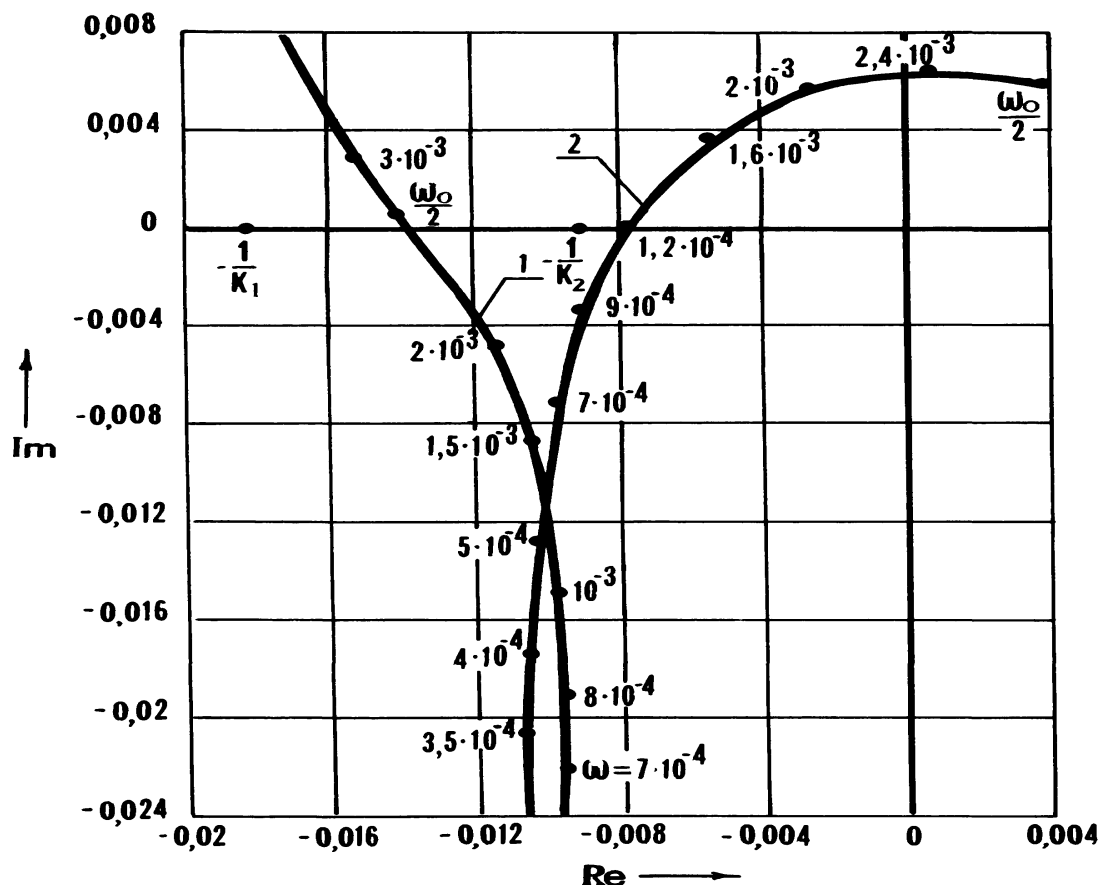


Рис. 4.4. Визначення стійкості систем автоматичного регулювання кислотності (1) та концентрації (2) живильного розчину

4.3. Розроблення алгоритму керування приготуванням живильного розчину в блоці гідропонних теплиць

Відповідно до проведених досліджень технології приготування живильного розчину в розчинному вузлі, технологічна схема якого показана на рис. 3, були розроблені алгоритми автоматичного керування приготуванням живильного розчину, а також регулюванням його кислотності і концентрації, які орієнтовані на використання одного кристального мікроконтролера.

Блок-схема алгоритму автоматичного приготування живильного розчину показана на рис.4.5. Попередньо на пульті керування встановлюють номери тих резервуарів, в яких необхідно готувати розчин.

Розглянемо приготування живильного розчину в резервуарі №1. Спочатку контролер аналізує стан датчика номера резервуара ЗРІ та відповідного датчика верхнього рівня розчину ДВУІ.

Якщо резервуар не заповнений розчином і його датчик включений, то відкривається вентиль У7, який встановлений на трубопроводі біля резервуару, та вентиль подачі У4. При цьому таймер відпрацьовує видержку часу, яка необхідна для відкриття виконавчих механізмів (10 с).

Після відкриття вентилів контролер аналізує стан датчика потоку ДПІ. Якщо проток відсутній, видається сигнал "Аварія", включається звукова сигналізація і виключаються виконавчі механізми. Якщо ж датчик дає сигнал наявності потоку в системі, включається насос-дозатор кислоти М3, при цьому таймер відпрацьовує видержку часу T_k , відповідно до заданої кількості кислоти для подачі в резервуар. Після цього виключається насос-дозатор кислоти М3 і закривається вентиль У4, при цьому відпрацьовується видержка часу $T_{вм}$, яка необхідна для закривання вентиля (10 с).

Потім при наявності потоку в системі включаються в роботу насоси-дозатори добрив, при цьому контролер відпрацьовує витримку часу T_y , відповідно до заданої кількості концентрованих розчинів добрив для подачі в резервуар. Після цього виключаються насоси-дозатори добрив і через проміжок часу $T_{вм}$ при наявності потоку в системі включається вентиль подачі води У1.

За сигналом датчика верхнього рівня ДВУ1 припиняється подача води, при цьому вимикаються вентилі її подачі У1 і змішувального резервуара У7. При подачі компонентів живильного розчину аналізується стан датчиків протоку і верхнього рівня розчину в резервуарі, за сигналами яких при відсутності протоку в системі і заповненні резервуара розчином подається сигнал “Аварія” і вимикаються виконавчі механізми.

Після приготування живильного розчину в резервуарі №1 аналогічно готується розчин в інших резервуарах.

При приготуванні живильного розчину в змішувальні резервуари подають кислоту та концентровані розчини добрив в кількості рівній 80% від їх розрахункового значення для об'єму 120м³, що пов'язано з можливим відхиленням подачі насосів – дозаторів в процесі приготування розчину, а також тим, що перед його приготуванням в резервуарі залишається деяка кількість розчину.

Тому через одну годину після його заповнення кислотою, добривами та водою, коли перемішаються всі компоненти, вмикається в роботу система автоматичного регулювання параметрів живильного розчину.

Розглянемо автоматичне регулювання живильного розчину в резервуарі №1 (рис. 4.6).

Попередньо виконується опитування задатчика резервуара ЗР1. При відсутності сигналу з задатчика, а також якщо параметри живильного розчину знаходяться в заданих межах, контролер здійснює їх регулювання в наступних резервуарах.

При відхиленні параметрів живильного розчину в змішувальному резервуарі №1 від заданих значень вмикається вентиль резервуара У7. Якщо резервуар не повністю заповнений розчином, при наявності протоку в системі вмикається вентиль подачі води У1, яка подається до досягнення розчином верхнього рівня. При відсутності протоку в системі подається сигнал “Аварія”.

Потім вмикається вентиль подачі кислоти У4, при цьому вимикається вентиль подачі води У1. Таймер відпрацьовує витримку часу на відкриття

виконавчого механізму (10с). У випадку, якщо кислотність живильного розчину знаходиться в заданих межах, регулюється при необхідності його концентрація. Якщо кислотність розчину більше заданого значення, рівень розчину у резервуарі не перевищує аварійного, та існує протік в системі, вмикається насос – дозатор кислоти М3, подаючи в резервуар за проміжок часу S_k^3 порцію кислоти. Після цього вмикаються насос – дозатор М3 і вентиль подачі кислоти У4, при цьому таймер виробляє витримку часу (10с), необхідну для закриття вентиля.

Потім порівнюється значення питомої електропровідності живильного розчину у змішувальному резервуарі з заданою. Якщо вона менше заданої, рівень розчину не перевищує аварійний, то при наявності потоку в системі вмикаються в роботу насоси – дозатори добрив М4, М5, подаючи за проміжок часу S_y^3 порцію концентрованих розчинів добрив.

Після цього вмикаються насоси – дозатори М4, М5 і через проміжок часу $T_{им}$ при наявності потоку в системі вмикається вентиль подачі води, яка поступає за проміжок часу S_v^3 , необхідний для промивки трубопроводу від добрив. Після цього вимикається вентиль подачі води У1 і вентиль вмикання резервуара У7.

Протягом всього часу роботи виконавчих механізмів контролюється рівень розчину в резервуарі та наявність потоку в системі. При перевищенні розчином аварійного рівня і відсутності потоку видається сигнал “Аварія”, вмикається звукова сигналізація і вимикаються виконавчі механізми.

Після завершення подачі компонентів в резервуар №1 контролер відразу виконує автоматичне регулювання кислотності та концентрації живильного розчину в одному з наступних резервуарів.

Регулювання параметрів живильного розчину в інших резервуарах виконується аналогічно, як і в резервуарі №1. Потім контролер звертається до таймера, який виробляє час паузи T_n , такий, щоб в сумі з часом регулювання він склав інтервал квантування по часу.

Далі починається новий цикл опитування первинних перетворювачів і подача компонентів живильного розчину.

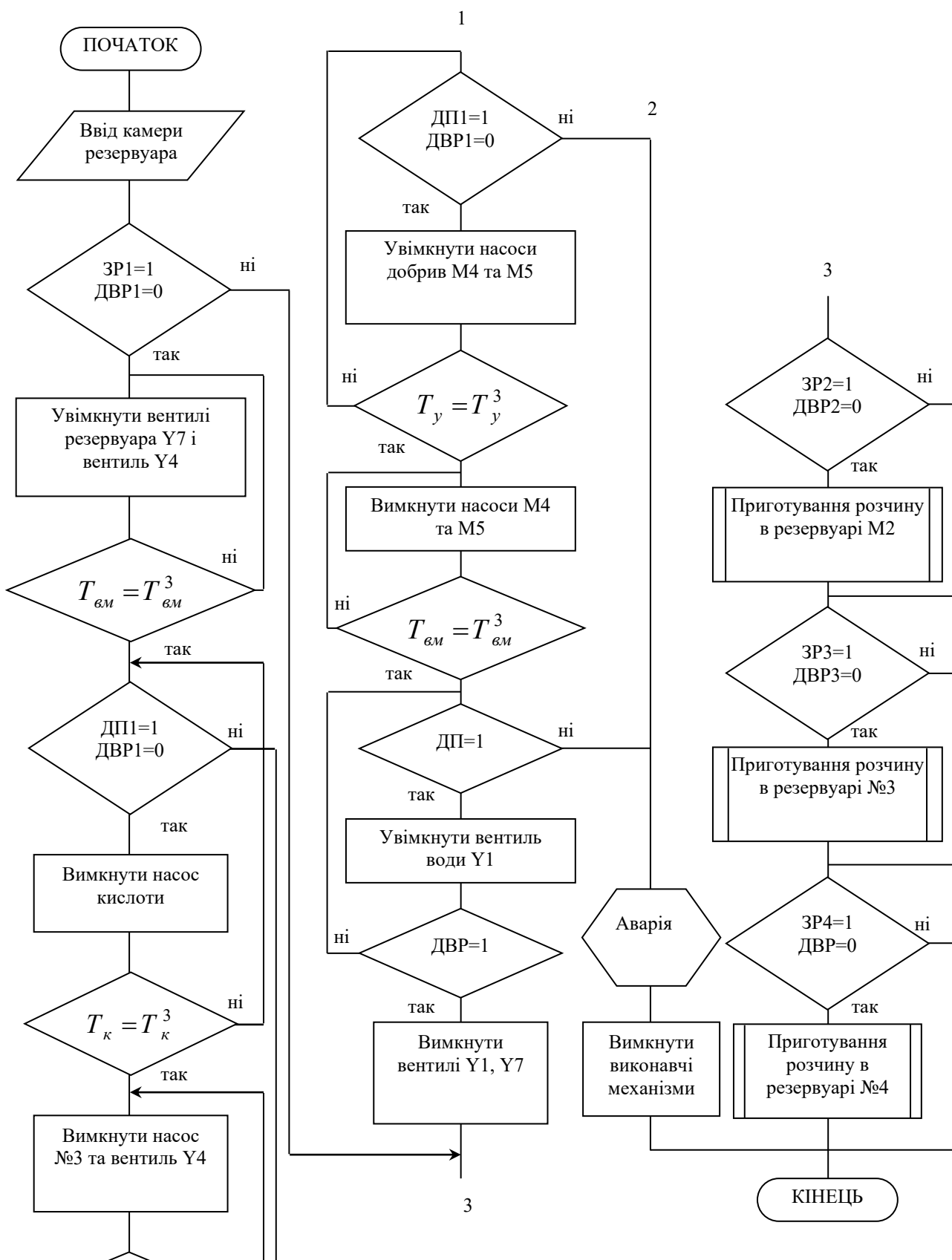
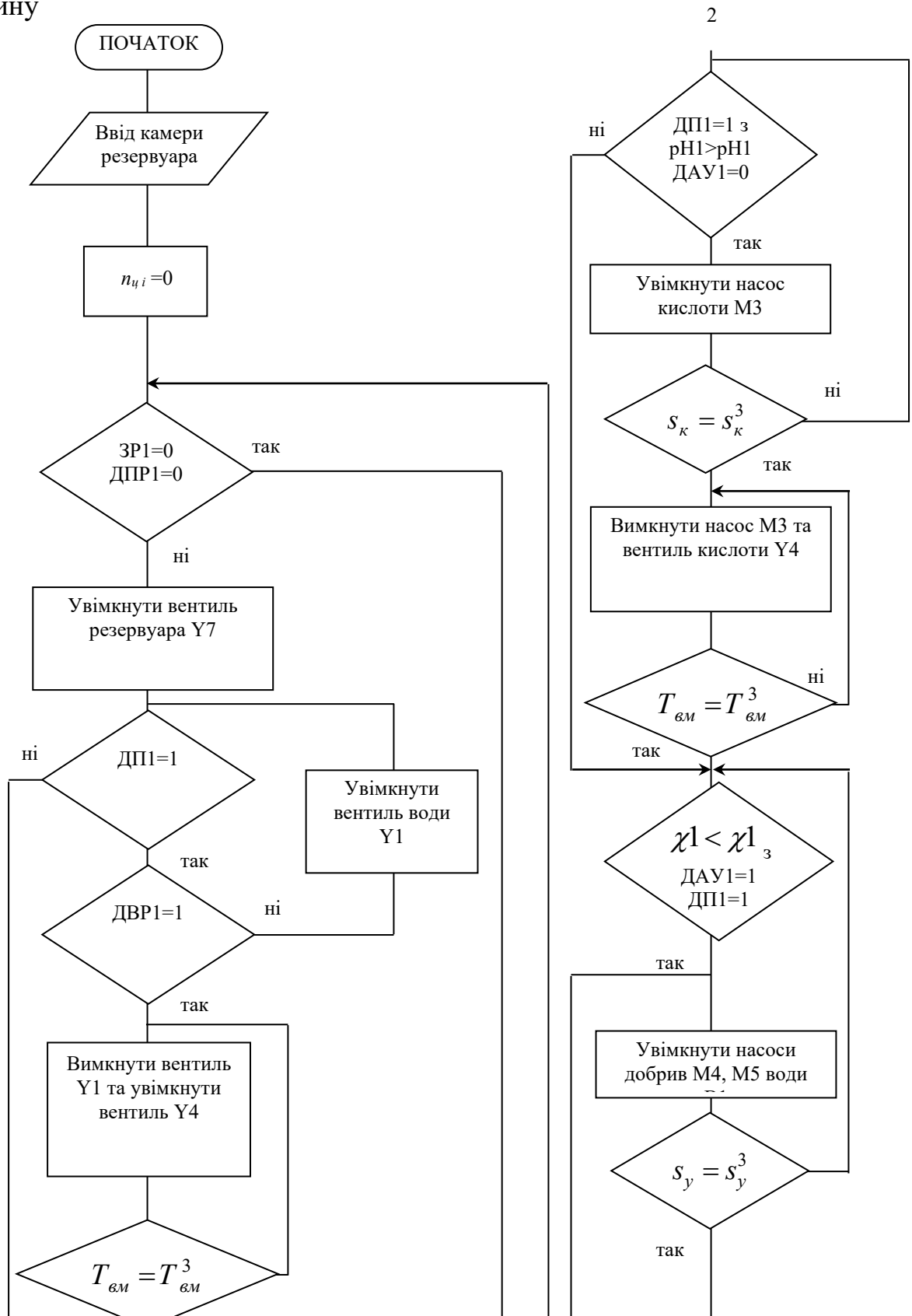


Рис.4.5. Блок-схема алгоритму автоматичного приготування живильного розчину



4.4. Розроблення принципіальної електричної схеми керування приготуванням живильного розчину

Оскільки промислові рН-метри і кондуктометри мають вбудовані позиційні регулятори, то доцільно вибрати логічний контролер.

Логічні операції передачі сигналів від датчиків до інформаційних входів Х2 – Х4 мікроконтролера здійснюється блоком спряження контролера з датчиками, який представляє собою комутатор дискретних сигналів (рис. 4.7).

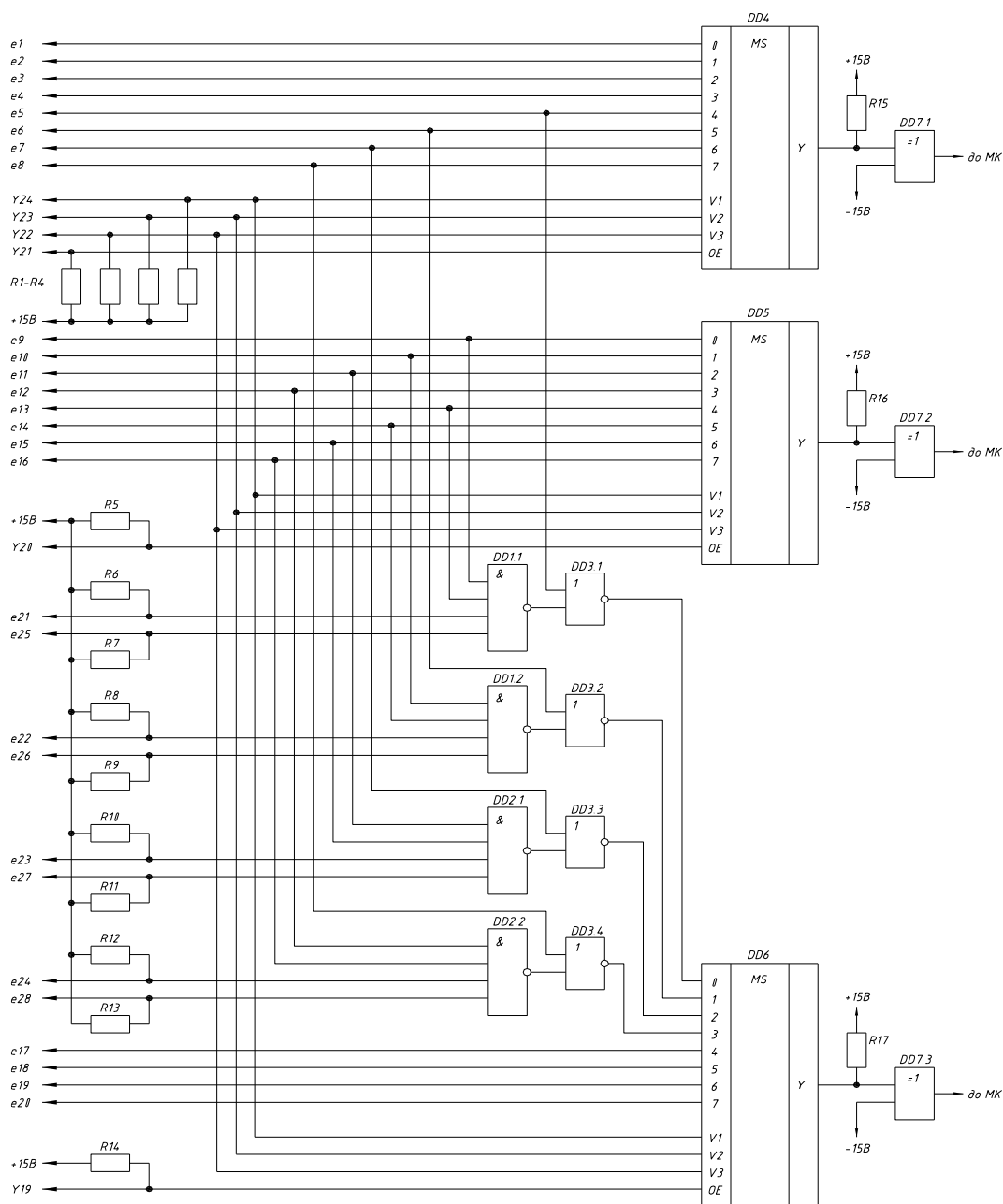


Рис. 4.7. Принципіальна електрична схема спряження контролера з датчиками

Сигнал з елементу DD1.1 та сигнал з датчика верхнього рівня поступають на мікросхему, яка представляє собою елемент 2АБО – НІ, звідки сигнал е29 поступає на вхід восьмиканального мультиплексора DD6. Аналогічно сформуються сигнали е30...е32.

Принципіальна електрична схема спряження контролера з виконавчими механізмами (рис. 4.8) включає оптоелектричні силові ключі А1...А6 та А8...А13, керування насосами-дозаторами та вентилями, ключ А7 керування дзвінком аварійної сигналізації, дешифратор кодів керування DD1...DD3 та логіки на елементах 2ИЛИ – НЕ.

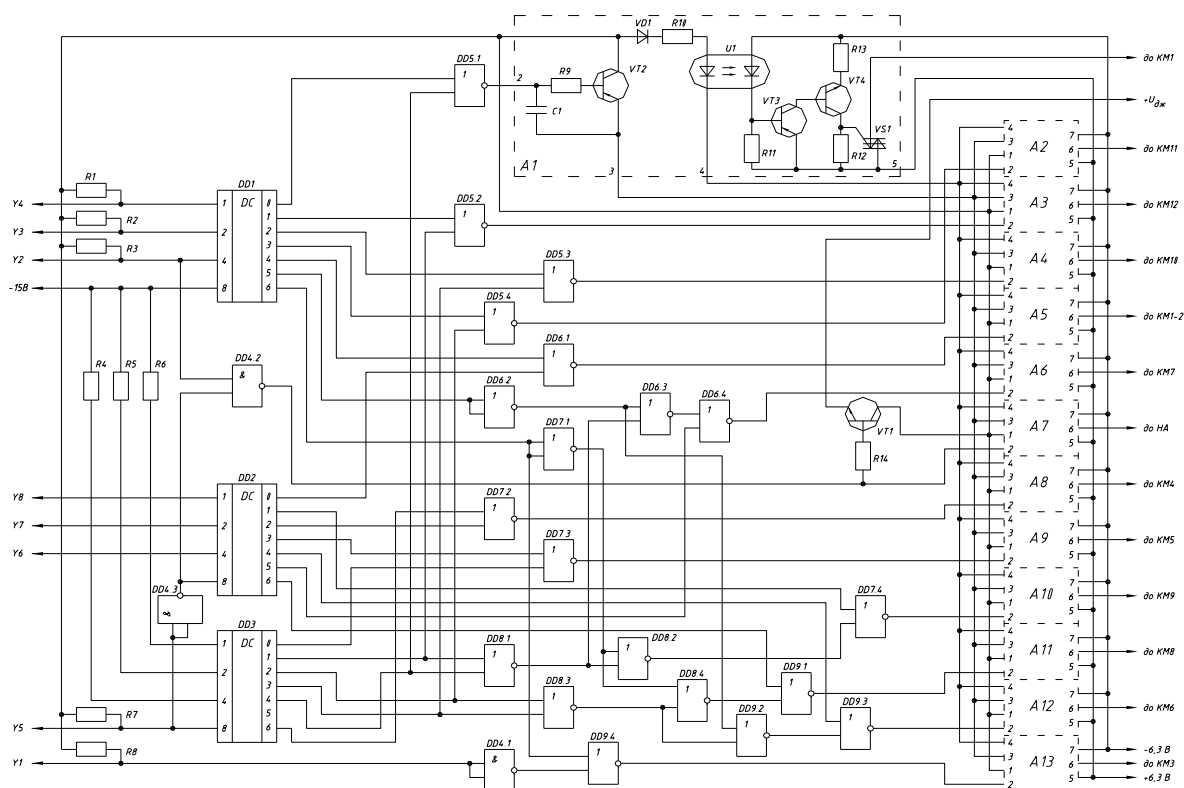


Рис. 4.8. Принципіальна електрична схема спряження контролера з виконавчими механізмами

Програмно заданий код управління виконавчими механізмами чи аварійних режимів поступає із виходів контролера Y1...Y8. Коды керування Y2...Y8 поступають на дешифратори DD1 – DD3, на виході яких утворюється сигнал, який відповідає коду керування.

Виходи 0-2 дешифратора DD1 та виходи 0-6 дешифратора DD2 утворюють сигнали керування виконавчими механізмами. Виходи 4-6 дешифратора DD3 утворюють сигнали відмови роботи відповідного виконавчого механізму.

Керуючий сигнал з виходів дешифраторів поступає через логічні елементи 2ИЛИ – НЕ на вхід 7 відповідного ключа А. Керуючі сигнали по входу Y1 поступають через логічні елементи DD4.1. та DD9.4. безпосередньо на силовий ключ А13.

Кожен силовий ключ А містить симістор VS1, через який вмикаються виконавчі механізми. Симістор керується шляхом подачі сигналу від'ємної (симістор відкритий), або додатної (симістор закритий) полярності на базу транзистора VT2 відповідного ключа А. За допомогою діодної оптопари u1 відбувається гальванічна розв'язка силового та керуючого кола. При цьому діод VD1 запобігає проходженню зворотного струму через світлодіод оптопари u1. Транзистори VT1 та VT4 служать для підсилення сигналу, який поступає з оптопари.

Транзистор VT1 потрібен для вимикання оптопар ключів А1...А13 при аварійних режимах.

Сигнал, керуючий сигналом транзистора VT1, а також ключем аварійної сигналізації А7, формується на виході елемента DD4.2., на вхід якого поступають сигнали Y2 та Y5.

Принципальна електрична схема вузла приготування живильного розчину зображена на листі 5.

Схема передбачає ручне (від кнопових постів) та автоматичне (від мікроконтролера) керування виконавчими механізмами – насосами та електромагнітними вентилями. Вибір режиму роботи здійснюється перемикачами SA1 та SA2. Схема передбачає захист електродвигунів насосів від струмів короткого замикання (автоматичні вимикачі) та перевантажень (теплові реле). При відсутності потоку в системі спрацьовують реле потоку, які своїми розмикаючими контактами KV1...KV5 забезпечують вимикання

насосів та електромагнітних клапанів подачі кислоти та розчинів мінеральних добрив.

Принципальна електрична схема автоматичного керування подачею живильного розчину (рис.4.9) працює так. При подачі сигналу від реле часу в автоматичному режимі замикається контакт КТ і спрацьовує пускач КМ1, який вмикає в роботу електродвигун подачі живильного розчину. Розчин подається в першу секцію. Коли рівень живильного розчину в секції досягне датчика рівня SL1, він замикає свій контакт і отримує живлення котушка пускача КМ2. При цьому електродвигун М2 приводить в дію дисковий розподільник, який при досягненні крайнього положення натискає на кінцевий вимикач SQ2, при цьому двигун зупиняється і розчин подається в другу секцію доки він не досягне датчика верхнього рівня SL2. Після цього двигун переводить дисковий розподільник у третє положення, а після підживлення третьої секції – у четверте положення. Після закінчення підживлення четвертої секції датчик рівня розчину SL4 зупиняє насос подачі розчину і переводить дисковий розподільник у початкове положення.

При ручному керуванні (перемикач SA ставлять у положення “Ручне керування”) електродвигун насоса та дискового розподільника вмикаються за допомогою кнопок – відповідно SB2 та SB4.

Керування подачею розчину може також здійснюватись від регулятора вологості субстрату. Як датчики використовують два графітові електроди, які розміщують в субстраті. Заданий рівень вологості задається резистором R1. Резистор R2 призначений для установки початкової вологості субстрату. При зниженні вологості субстрату спрацьовує проміжне реле KV1 (РЭС10), яке видає команду на вмикання насоса подачі розчину.

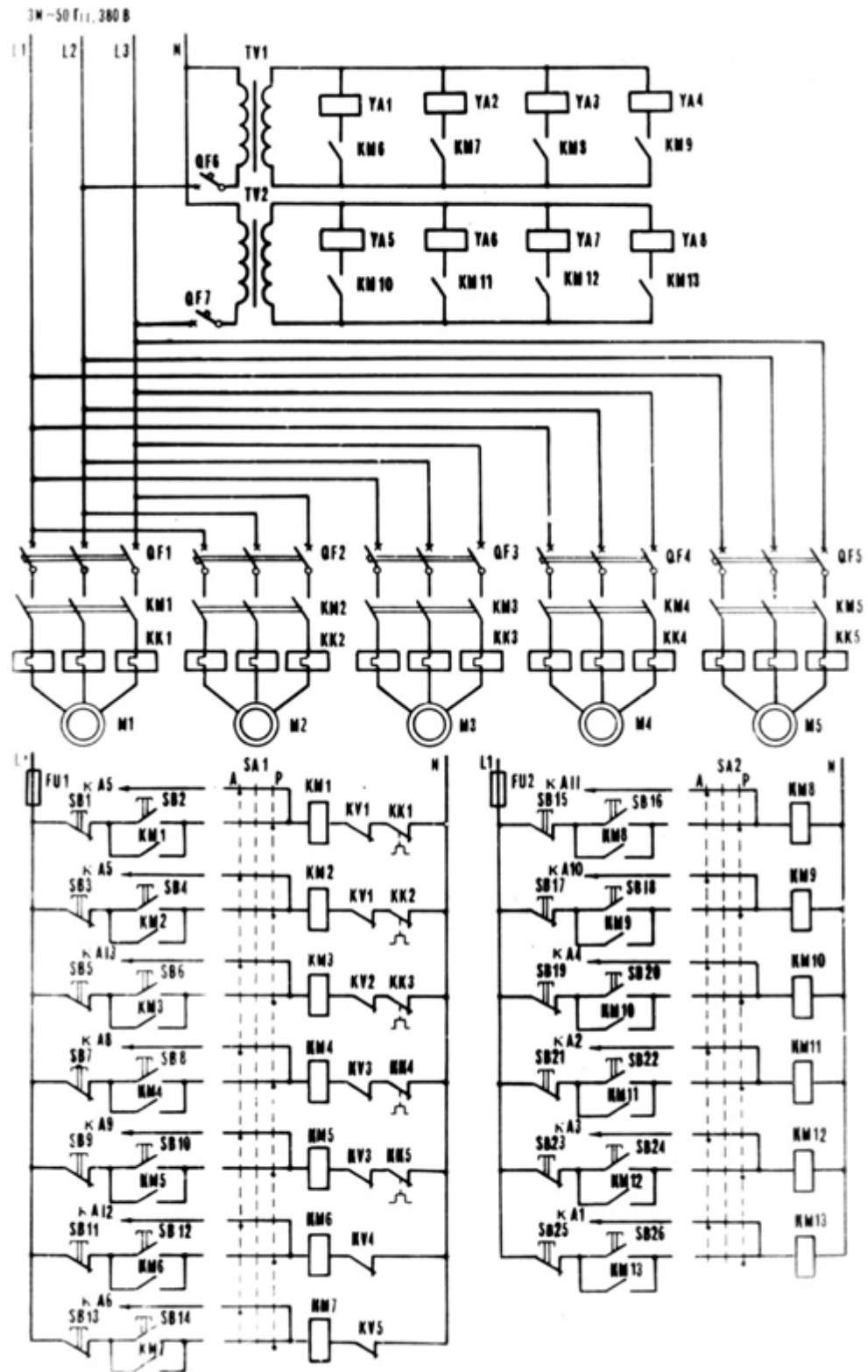


Рис. 4.9. Принципіальна електрична схема керування виконавчими механізмами вузла приготування живильного розчину

4.5. Розрахунок електропривода насоса подачі живильного розчину

Виконаємо розрахунок електропривода насоса подачі живильного розчину К8/18.

Потужність насоса розраховується за формулою [41]:

$$P_{нас} = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{\eta_{нас}} \quad (4.35)$$

де Q – подача насоса, м³/с; H – розрахунковий напір, м; g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; $\eta_{нас}$ – ККД насоса; ρ – густина рідини, що подається насосом, кг/м³.

$$P_{нас} = \frac{0,002 \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}{0,53} = 0,7 \text{ кВт}$$

Розрахункову потужність двигуна визначають за формулою:

$$P_{дв.розр} = \frac{k_3 \cdot P_{нас}}{\eta_{пер}} \quad (4.36)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,5$ [41]; $\eta_{пер}$ – ККД механічного передавального пристрою, ККД муфти = 1.

$$P_{дв.розр} = \frac{1,5 \cdot 0,7}{1} = 1,05 \text{ кВт}$$

Вибираємо електродвигун АИР71В2.

Для захисту електродвигуна від коротких замикань та струмів перевантаження застосовують автоматичні вимикачі, які вибираються за умовами [30]:

- 1) за номінальною напругою автоматичного вимикача:

$$U_{ном} \geq U_{мережі}; \quad 380 \text{ В} \geq 380 \text{ В} \quad (4.37)$$

- 2) за номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{н.ав.} \geq I_{н.дв.}; \quad 6 \text{ А} \geq 2,55 \text{ А} \quad (4.38)$$

- 3) за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму:

$$I_{н.розч} \geq I_{н.дв.}; \quad 4 \text{ А} \geq 2,55 \text{ А} \quad (4.39)$$

- 4) кратність відсічки $K_{відс} = 10$

5) кількість полюсів – 3

Перевірку вибраного вимикача здійснюють за умовою:

$$I_{відс} = K_{відс} \cdot I_{н.розч} \geq K_з \cdot K_{пу} \cdot K_{рнс} \cdot K_I \cdot I_{н.дв} \quad (4.40)$$

де $I_{відс}$ – струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А;

$K_з$ – коефіцієнт запасу, $K_з = 1,1$;

$K_{пу}$ – коефіцієнт, що враховує розкид уставки теплового розчіплювача, $K_{пу}=1,25$;

$K_{рнс}$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення пускового струму від його каталогового значення, $K_{рнс}=1,2$;

K_I – кратність пускового струму;

$I_{н.дв}$ – номінальний струм двигуна.

$$I_{відс} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 6 \cdot 2,55 = 25,2 \text{ А}$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії ВА-2002 3P+N C 6A.

Електромагнітні пускачі вибирають за такими умовами [42]:

1) за номінальною напругою магнітного пускача:

$$U_{пуск} \geq U_{мережі}; \quad 380\text{В} \geq 380\text{В} \quad (4.41)$$

2) за номінальним робочим струмом:

$$I_{н.пуск} \geq I_{н.дв}; \quad 25\text{А} \geq 2,55\text{А} \quad (4.42)$$

3) реверсивний чи нереверсивний;

4) за наявністю кнопок та сигнальних ламп;

5) за кількістю та типом допоміжних контактів;

6) за кліматичним виконанням і категорією розміщення;

7) за родом струму і напругою втягувальної котушки:

$$U_{кот} = U_{кола керування}$$

Змінний струм, 220 В

Вибираємо електромагнітний пускач серії ПМЛ 2100-О4Б.

Електротеплові реле вибираються за умовами:

1) Тип реле, теплове реле вибираю типу РТЛ.

2) За номінальним струмом реле

$$I_{\text{ном т.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}} \quad 25 \text{ A} > 2,55 \text{ A} \quad (4.43)$$

де $I_{\text{ном т.р.}}$ – номінальний струм електротеплового реле, А;

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

3) За номінальним струмом двигуна

$$I_{\text{рег макс.т.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}} \geq I_{\text{рег мін т.р.}} \quad (4.44)$$

де $I_{\text{рег макс. т.р.}}$ і $I_{\text{рег мін т.р.}}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення діапазону регулювання струму неспрацювання теплового реле, А

$$2,4 \text{ A} > 2,55 \text{ A} > 4 \text{ A}$$

Вибираємо теплове реле серії РТЛ 1008-О4.

Кнопки керування вибираємо так [42]:

- 1) Номінальна напруга – 220В;
- 2) Номінальний струм – 10А;
- 3) Ступінь захисту – IP40;
- 4) Кліматичне виконання – У;
- 5) Категорія розміщення – 4.

Для керування електродвигуном виб'раємо кнопки КЕ 011У4.

Апарати керування та захисту мають бути розміщені в ящику керування.

Для розміщення обладнання вибраний ящик типу Я5123-2674-51УХЛ2.

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГІДРОПОННІЙ ТЕПЛИЦІ

Перший крок полягає у правильному виборі електродвигуна за потужністю. Двигун заниженої потужності швидко виходить з ладу, а двигун завищеної потужності перетворює енергію неефективно, тобто з високими питомими втратами в самому двигуні (низький ККД) і в мережі живлення (низький $\cos\phi$).

Другий шлях полягає у підвищенні економічності масового нерегульованого електропривода, перехід на енергозберігаючі двигуни і двигуни поліпшеної конструкції.

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) підвищені номінальні значення ККД і $\cos\phi$. Енергозберігаючі двигуни використовуються, наприклад, у США, і дають ефект при постійному навантаженні. Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5 %) підвищення номінальних ККД і $\cos\phi$ досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30–35 %, міді на 20–25 %, алюмінію на 10–15 % і в цілому двигуна на 25–30 % відносно звичайних двигунів.

Третій шлях полягає в економії електроенергії робочими установками і механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

Економія електроенергії установками і механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу містить у собі такі основні заходи:

- узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження;
- підвищення ККД установки;
- регулювання продуктивності установки;
- виконання оптимальної циклограми й упорядкування графіка навантажень;

- забезпечення нормованого завантаження;
- контроль стану технологічної устави;
- застосування нових видів електропривода;
- організаційні заходи.

Четвертий шлях полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода.

Сюди входять:

- вибір раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи машин і механізмів;
- вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження;
- підвищення завантаження робочих машин;
- виключення режиму неробочого ходу;
- зниження напруги на затискачах двигуна;
- мінімізація струму і втрат енергії асинхронного двигуна при зміні навантаження;
- оптимізація динамічних режимів;
- використання синхронної машини як компенсатора реактивної потужності;
- використання акумуляторів енергії.

П'ятий шлях полягає у виборі раціонального типу електропривода для конкретної технологічної установки і переході від нерегульованого електропривода до регульованого.

Шостий шлях полягає в поліпшенні якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

Регульований електропривод при роботі впливає на мережу електропостачання, що виражається в зниженні коефіцієнта потужності, коливаннях напруги в мережі і спотворенні синусоїдальної форми напруги.

Зниження коефіцієнта потужності збільшує реактивну потужність системи електропостачання, що призводить до додаткових втрат напруги й енергії і вимагає збільшення пропускної здатності її елементів.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Організація охорони праці на підприємстві

Заходи з безпеки праці в тепличному господарстві проводяться на основі плану покращення умов охорони праці та санітарно-оздоровчих заходів.

Робітники, що тільки прийняті на роботу, проходять ввідний інструктаж та первинний інструктаж на робочому місці.

Ввідний інструктаж проводить головний спеціаліст того ж господарства, куди вступає новий робітник, при обов'язковій присутності інженера по охороні. Його реєструють в особистій карточці робітника. Первинний інструктаж на робочому місці проводить керівник підрозділу. Допуск до самостійної роботи фіксується в журналі реєстрації інструктажів на робочому місці та в особистій карточці з датою та підписом інструктуючого та інструктованого.

Повторний інструктаж проводять усі робітники не менше як один раз на 6 місяців (електрики – раз у 3 місяці) за програмою інструктажу на робочому місці. Фіксують його також як і первинний.

Особи, що мають відношення до електроприладів, проходять навчання відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів». Електромонтери та слюсарі КВП і А проходять кожні два роки медичний огляд. Позапланові інструктажі проводяться при порушенні робітниками правил техніки безпеки.

Контроль за станом безпеки праці в господарстві здійснює комісія по охороні праці при профкомі, яку очолює старший інспектор по безпеці праці.

Робітники господарства забезпечені особистими засобами захисту та спецодягом.

6.2 Безпечність об'єкту проектування

Безпека обслуговування електрообладнання залежить від характеру середовища, в якому воно працює. Визначення класів та категорій об'єктів господарства приведено в таблиці 6.1.

Для боротьби зі шкідниками та хворобами рослини обробляють отрутохімікатами. Для цього передбачено в обов'язковому порядку наявність спецодягу, протигазів типу ПШ-1 та респіраторів типу РУ-60.

Для попередження обслуговуючого персоналу розроблена схема сигналізації, яка передбачає видачу світлових та звукових сигналів при обробці отрутохімікатами, при термічному обробітку ґрунту та при підживленні рослин вуглекислим газом. Вмикання сигналізації передбачено зі щита управління в щитовій КВП і А. При вході в теплицю запалюється табло «НЕ ЗАХОДИТИ - ЯДИ», «НЕ ЗАХОДИТИ – ГАЗИ», «ОБЕРЕЖНО, ПАР!». При відкриванні дверей у теплицю в момент, коли заборонений вхід в неї, загоряється сигнал на щиті «ДВЕРІ В ТЕПЛИЦЮ ВІДКРИТІ».

Зняття сигналу після завершення виконання вище наведених робіт відбувається за допомогою кнопки зйому сигналу зі щита керування. При цьому дзвонить дзвоник та загоряється лампочка «УВІМИКНУТИ ВЕНТИЛЯЦІЮ». Зняття звукового сигналу відбувається по закінченні деякого проміжного часу, заданого реле часу.

В з'єднувальному коридорі не виключена можливість пошкодження ізоляції проводів та кабелів рухомим механізмами. Для цього необхідно передбачити прокладку їх в металевих трубах та лотках у відповідності з П-З-134 ПУЕ-76.

Для запобігання переносу інфекції перед входами теплиць встановлюється ящик з тирсою, просоченою дезинфікуючим розчином.

Потенційно небезпечним є трансформатор, від якого живиться комплекс теплиць, рами і приводи вимикачів та комутаційних апаратів, каркаси розподільчих щитів керування.

Змонтовані щити і пульти заземлюють (при підведенні напруги 36В змінного і 110В постійного струму, а також всі щити і пульти у вибухонебезпечних установок).

Внутрішні з'єднання виконуються за допомогою екранованих або неекранованих кабелів, ізолюваних проводів, які прокладаються в трубах для захисту проти механічних пошкоджень і безпосереднього контакту із навколишнім середовищем, причому використовують тільки проводи із мідними жилами.

Таблиця 6.1

Класи та категорії об'єктів господарства

Найменування об'єкта.	Категорія виробництв по вибухо-га	Кліматична зона.	Ступінь вогнестійкості будівлі	Клас приміщення по ступеню враження електричним струмом.	Категорія приміщення по характеру оточуючого	Клас вибухо-га пожежних зон	Категорія пристроїв блискавкозахисту.
Теплиця	Д	3	Г	Особливо небезпечні	Особливо вологі		3
Котельня	Г	3	П	3 підвищеною небезпекою	Вологі	В-Іб	3
Склад ПММ	Б	3	І	Особливо небезпечні	Особливо вологі	В-Іг	2
Склад мінеральних добрив	Б	3	П	Особливо небезпечні	Особливо вологі з хімічноактивним середовищем	В-Іг	2
Склад матеріальних цінностей	Д	3	П	Без підвищеної небезпеки	Сухі	П-Пп	3

6.3 Розрахунок потреби та вибір захисних засобів

Потрібна кількість діелектричних засобів захисту для нормальної експлуатації запроектованих електричних установок розраховується по відомій кількості електроустановок об'єкту у відповідності з «Минимальными нормами комплектирования защитными средствами электроустановок при вводе их в эксплуатацию».

Таблиця 6.2

Розрахунок необхідних захисних засобів.

№	Назва захисних засобів	ГОСТ	Кількість	Місце зберігання
1	Діелектричні рукавиці	ГОСТ 15497-63	4 пари	Шафа
2	Діелектричні боти	ГОСТ 4010-68	2 пари	Шафа
3	Індикатор високої напруги	МРТУ 34613-70	1 шт.	Шафа
4	Показчик напруги до 1кВ	МРТУ 34620-86	2 шт.	Шафа
5	Струмевимірювальні кліщі	ТУ 34.131832-73	2 шт.	Шафа
6	Пояс запобіжний	ТУ 39.72283-71	2 шт.	Шафа
7	Монтерський інструмент	ГОСТ 17516-75	2 шт.	Шафа
8	Переносні заземлення	ТУ 16.538.22-74	2 шт.	Шафа
9	Плакати і знаки безпеки	ГОСТ 12.4.026-76	3 комп.	Пункт КТО
10	Тимчасові огорожі	ГОСТ 12.4.026-76	2 комп.	Пункт КТО
11	Захисні окуляри	ГОСТ 121063-74	2 шт.	Шафа
12	Каска вінілпластова	ГОСТ 53119-81	2 шт.	Шафа
13	Рукавиці	ГОСТ 2010-80	2 пари	Шафа

6.4 Розрахунок заземлюючих пристроїв

Відповідно з вимогами, викладеними в ПУЕ, визначену допустиму величину опору заземлюючого пристрою, до якого приєднується нульова точка трансформатора. Передбачено виконання заземлюючого пристрою стальними стержнями.

Опір повторного заземлення нульового проводу повинен бути не більше 30 Ом. Трансформаторна підстанція знаходиться в 3 кліматичній зоні України.

Питомий опір ґрунту: $\rho_1=270$ Ом/м; $\rho_2=140$ Ом/м; товщина шару з ρ_1 – $h_1=3,5$ м.

Число гроз на рік дорівнює 65 годин.

Проводимо розрахунок заземлюючого пристрою ТП 250-10/0,4 кВ.

Довжина вертикальних стержнів $L=7$ м, діаметр стержнів $d=0,012$ м, глибина закладання стержнів $t=0,8$ м, площа залізобетонного фундаменту $S=50$ м²; довжина кабельної лінії $L_{кл}=12$ км; довжина повітряної лінії $L_{пл}=80$ км.

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

Визначаємо $\rho_{екв}$:

де $k=1$ при $\rho_1 > \rho_2$

Опір повторного заземлювача: $R_{пов.зав.}=0,3 \cdot \rho_{екв}=0,3 \cdot 171,93=51,58$ Ом.

Допустимий опір заземлення лінії: $R_{доп.л.}=0,1 \cdot \rho_{екв}=0,1 \cdot 171,93=17,19$ Ом.

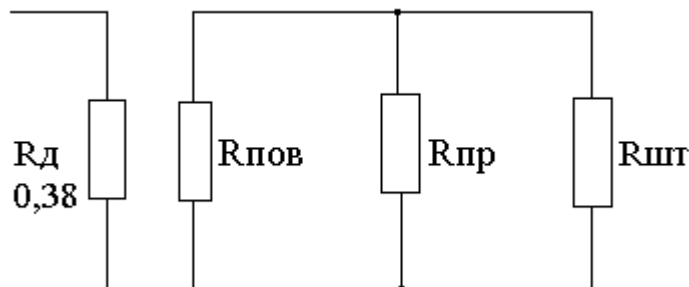
$$\rho_{екв} := \frac{270 \cdot 140 \cdot 1 \cdot 0 \cdot 7}{270 \cdot (0,8 + 1 \cdot 7 - 3,5) + 140 \cdot (3,5 - 0,8)}$$

$$\rho_{екв} = 171,93 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір штучного заземлювача: $R_{шт.}=0,3 \cdot \rho_{екв}=51,58$ Ом.

Допустимий опір заземлення ТП: $R_{доп.ТП.}=0,04 \cdot \rho_{екв}=0,04 \cdot 171,93=6,88$ Ом.

Розрахунок заземлювача для мережі 0,38кВ.



$R_{пов}$ – опір повторного заземлювача;

$R_{шт}$ – опір штучного заземлювача;

$R_{пов}$ – опір природного заземлювача.

Рис. 6.1. Схема заміщення мережі 0,38кВ

$$R_{\text{пр}}^- := \frac{0.5 \cdot \rho_{\text{эф}}}{\sqrt{S}} \quad \rho_{\text{эф}} := \rho_1 \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot \frac{h_1}{\sqrt{S}}}\right) + \rho_2 \cdot \left(1 - e^{-\beta \cdot \frac{\sqrt{S}}{h_1}}\right)$$

де α і β коефіцієнти при $\rho_1 > \rho_2$ $\alpha := 3.6$ $\beta := 0.1$

$$\rho_{\text{эф}} := 270 \cdot \left(1 - e^{-3.6 \cdot \frac{3.5}{\sqrt{50}}}\right) + 140 \cdot \left(1 - e^{-0.1 \cdot \frac{\sqrt{50}}{3.5}}\right)$$

$$\rho_{\text{эф}} := 276.9 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{пр}}^- := \frac{0.5 \cdot 276.9}{\sqrt{50}} \quad R_{\text{пр}} := 19.5 \text{ Ом}$$

Розрахуємо опір природного заземлювання: (6.2)

Розраховуємо опір повторних заземлень

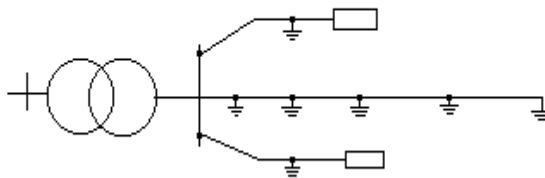


Рис. 6..2. Схема мережі 0,38кВ із позначенням повторних заземлень.

$$R_{\text{л1}} = 17,19 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{л2}} = 51,58/5 = 10,31 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{л3}} = 17,19 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{пов}} = (R_{\text{л1}} \cdot R_{\text{л2}} \cdot R_{\text{л3}}) / (R_{\text{л1}} \cdot R_{\text{л2}} + R_{\text{л1}} \cdot R_{\text{л3}} + R_{\text{л2}} \cdot R_{\text{л3}}) = \quad (6.3)$$

$$= (17,19 \cdot 10,31 \cdot 17,19) / (17,19 \cdot 17,19 + 17,19 \cdot 17,19 + 10,31 \cdot 17,19) = 4,69 \text{ Ом}.$$

Визначаємо еквівалентний опір:

$$R_{\text{екв}} = (R_{\text{пов}} \cdot R_{\text{пр}}) / (R_{\text{пов}} + R_{\text{пр}}) = (4,69 \cdot 19,5) / (4,69 + 19,5) = 3,78 \text{ Ом}.$$

Оскільки $R_{\text{екв}}=3,78\text{Ом} < R_{\text{доп}}=6,88\text{Ом}$, то опір штучного заземлювача приймаємо максимально допустимий $R_{\text{шт}} = 51,58\text{Ом}$, тому що при такому відношенні $R_{\text{екв}}$ до $R_{\text{доп}}$ штучне заземлення можна було б і не виконувати, але правила вимагають цього.

Розрахуємо заземлювач для мережі 10кВ.

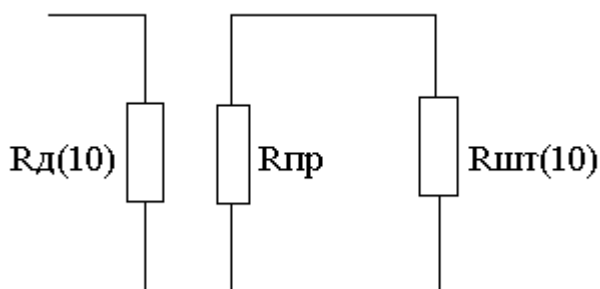


Рис.6..3. Схема заміщення лінії 10кВ

Визначаємо допустимий опір заземлювача:

$$R_{\text{д}}=(125/I_{\text{зз}})< 10 \text{ Ом}, \quad (6.4)$$

де $I_{\text{зз}}$ – струм замикання на землю.

$$I_{\text{зз}}=(U \cdot (L_{\text{пл}}+35 \cdot L_{\text{к}}))/350=(10 \cdot (80+35 \cdot 12))/350=14,28\text{А}. \quad (6.5)$$

$$R_{\text{д}(10)}=125/14,28=8,75 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом} .$$

Опір штучного заземлювача за умовами мережі: 10кВ

$$R_{\text{шт}(10)}=(R_{\text{д}(10)} \cdot R_{\text{гр}})/(R_{\text{д}(10)}+R_{\text{гр}})=(8,75 \cdot 19,5)/(8,75+19,5)=15,87 \text{ Ом}. \quad (6.6)$$

Порівнявши $R_{\text{шт}(0,38)}$ і $R_{\text{шт}(10)}$, для розрахунку приймаємо менше значення,

тобто $R_{\text{шт}(10)}=15,87 \text{ Ом}$.

$$R_{\text{ст}} := \left(\frac{\rho_{\text{екв}} \cdot K_{\text{с}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L + h}{4 \cdot L - h} \right) \right]$$

$$R_{\text{ст}} := \left(\frac{171,93 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 7} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 7}{0,012} \right) + \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 4 + 7}{4 \cdot 4 - 7} \right) \right]$$

$$R_{\text{ст}} := 44,17 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального стержня: (6.7)

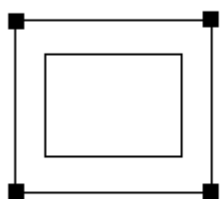
$$G_{ct}=1/R_{ct}=0,022 \text{ См}$$

Кількість вертикальних стержнів:

$$n=44,17/15,87=2,78 \text{ шт.},$$

приймаємо 4 стержні.

Визначаємо опір розтікання струму замикання горизонтального заземлювання:



$$R_{\Gamma} := \left(\frac{\kappa \cdot \rho_{\text{екв}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\Gamma}} \right) \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot (L_{\Gamma})^2}{b \cdot t} \right]$$

де b – ширина горизонтальної полоси.

Визначаємо еквівалентний опір горизонтального заземлювача $\rho_{\text{ер}}$.

Розрахунок $\rho_{\text{ер}}$ ведемо використовуючи дані із таблиці “Відносні дані значення еквівалентного питомого опору $\rho_{\text{ер}}/\rho_2$ двошарової поверхні” для розрахунку простого горизонтального заземлювача.

1) $\rho_1/\rho_2=2$; $h=3$; $l=5$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,89$;

2) $\rho_1/\rho_2=2$; $h=3$; $l=10$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,87$;

$$\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,89+((1,87-1,89)/(10-5)) \cdot (9-5)=1,874.$$

3) $\rho_1/\rho_2=2$; $h=5$; $L=5$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,93$;

4) $\rho_1/\rho_2=2$; $h=5$; $L=10$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,92$;

$$\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,93+((1,92-1,93)/(10-5)) \cdot (9-5)=1,922.$$

5) $\rho_1/\rho_2=2$; $h=3$; $L=3$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,874$;

$\rho_1/\rho_2=2$; $h=5$; $L=5$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,922$;

$$\rho_{\text{ер}}/\rho_2=1,874+((1,922-1,874)/(5-3)) \cdot (3,5-3)=1,878.$$

1) $\rho_1/\rho_2=5$; $h=3$; $L=5$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=4,52$;

2) $\rho_1/\rho_2=5$; $h=3$; $L=10$; $\rho_{\text{ер}}/\rho_2=4,31$;

$$\rho_{\text{ер}}/\rho_2=4,52+((4,31-4,52)/(5-3)) \cdot (9-5)=4,352.$$

$$3) \rho_1/\rho_2=5; h=5; L=5; \rho_{\text{er}}/\rho_2=4,72;$$

$$4) \rho_1/\rho_2=5; h=5; L=10; \rho_{\text{er}}/\rho_2=4,66;$$

$$\rho_{\text{er}}/\rho_2=4,72+((4,66-4,72)/(10-5))\cdot(9-5)=4,672.$$

$$5) \rho_1/\rho_2=5; h=3; L=3; \rho_{\text{er}}/\rho_2=4,352;$$

$$\rho_1/\rho_2=5; h=5; L=5; \rho_{\text{er}}/\rho_2=4,672;$$

$$\rho_{\text{er}}/\rho_2=4,352+((4,672-4,352)/(5-3))\cdot(3,5-3)=4,384.$$

$$\rho_1/\rho_2=2; h=3; L=3; \rho_{\text{er}}/\rho_2=1,878;$$

$$\rho_1/\rho_2=5; h=5; L=5; \rho_{\text{er}}/\rho_2=4,384;$$

$$\rho_{\text{er}}/\rho_2=1,878+((4,384-1,878)/(5-2))\cdot(2,21-2)=2,05.$$

$$\text{Отже } \rho_{\text{er}}=140\cdot 2,05=287 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$R_{\text{шт}(9)\Gamma}((2\cdot 287)/(2\cdot 3,14\cdot 18))\cdot \ln((2\cdot 18^2)/(0,04\cdot 0,8))=50,35 \text{ Ом.}$$

$$g^{(9)}=0,019 \text{ Ом.}$$

Опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{шт}} := \frac{1}{\eta \cdot (n_B \cdot g_B + n_T \cdot g_T)}$$

(6.9)

де η – коефіцієнт виконання складного заземлювача, який визначаємо із таблиці методом інтерполяції:

$$\rho_1/\rho_2=0,93; n=4; h/L_B=3,5/7=0,5; a/L_B=7/7=1$$

$$1) \rho_1/\rho_2=1; n=4; h/L_T=0,2; a/L_B=1; \eta=0,443.$$

$$2) \rho_1/\rho_2=1; n=4; h/L_B=0,5; a/L_T=1; \eta=0,443.$$

$$\eta=0,443+((0,443-0,443)/(0,5-0,2))\cdot(0,5-2)=0,443.$$

$$3) \rho_1/\rho_2=3; n=4; h/L_T=0,2; a/L_B=1; \eta=0,526.$$

$$4) \rho_1/\rho_2=3; n=4; h/L_B=0,5; a/L_T=1; \eta=0,545.$$

$$\eta=0,526+((0,545-0,526)/(0,5-0,2))\cdot(0,5-2)=0,541.$$

$$\eta/\rho_2=1; n=4; \rho_1/\rho_2=3; n=4.$$

$$\eta=0,443+((0,541-0,443)/(3-1))\cdot(1,93-1)=0,492.$$

$$R_{шт} = 1 / (0,492 \cdot (6 \cdot 0,022 + 4 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,019)) = 8,0 \text{ Ом.}$$

$$\text{Отже, } R_{шт} < R_{шт(10)} = 15,87 \text{ Ом.}$$

Таким чином, опір заземлюючого пристрою задовольняє вимоги ПВЕ і являє собою замкнутий контур з чотирма вертикальними стержнями, з'єднаних металевою штабою з поперечним перерізом 40x4 мм.

6.6 Блискавкозахист будівель і споруд

Теплиці мають сталевий заземлений каркас і спеціальний блискавкозахист для них не передбачається.

6.7 Протипожежні заходи

Згідно пожежним нормам будівельного проектування теплиці відносяться до категорії небезпечних. Основними причинами пожеж є порушення правил ТБ і ПТЕ, при експлуатації електроустановок та порушення правил пожежної безпеки.

Для попередження пожежі необхідно всьому обслуговуючому персоналу добре знати і суворо дотримуватись основних вимог. При розрахунку водопостачання враховано, що витрати води на пожежегасіння складає 10л/с передбачається встановлення протипожежних щитів у кожній теплиці.

Розрахунок необхідної кількості засобів пожежегасіння

№	Назва	Тип	Кількість	Місце встановлення	Характеристика
1	Вогнегасник	ОУ-2	4	Щитова	Вуглекислий V=2л
2	Вогнегасник	ОХП-10	4	Стенд	Хімічний пінний V=10л
3	Ящик з піском та совкова лопата		4	Перед теплицею	V=0,5м ³
4	Бочка з водою та відро		4	Перед теплицею	V=0,2м ³
5	Пожежний щит		4	Вхід в теплицю	Лопата, багор, лом, сокира
6	Приставні драбини		4	Перед теплицею	Лопата, багор, лом, сокира

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ

Застосування системи автоматичного приготування і подачі живильного розчину у теплицю дає можливість підвищити урожайність овочевих культур на 8 -10 % при зниженні витрати мінеральних добрив на 15 % та трудозатрат на виконання хімічних аналізів розчину.

Одними із головних в системі електрифікації та автоматизації є показники надійності. Вихід з ладу технічного чи електротехнічного обладнання призводить до порушення технологічних процесів, недовипуску продукції, нераціональному витрачання трудових та матеріальних ресурсів, збільшення витрат на ремонт та утримання техніки.

Сукупність технологічного обладнання та засобів автоматизації можна представити як систему взаємозв'язаних елементів, вихід із ладу хоч би одного з них призводить до відказу всієї системи та порушення технологічних процесів. Загальна інтенсивність відказів визначається:

$$\lambda = \sum_1^b \lambda_{oi} n_i K_{\lambda} \quad (7.1)$$

де n_i – число однотипних елементів;

λ_{oi} – інтенсивність відказу елементів в лабораторних умовах;

K_{λ} – поправочний коефіцієнт на конкретні умови експлуатації.

Середнє напрацювання на відказ

$$t_B = \frac{1}{\lambda} \quad (7.2)$$

Затрати часу на усунення відказу

$$T_b = K_n \frac{\sum_1^b \lambda_i n_i t_{B_i}}{\sum_1^b \lambda_i n_i}, \quad (7.3)$$

де K_n – коефіцієнт, який враховує час пошуку несправності в системі ($K_n=1,5-2$), t_{B_i} – час відновлення i -того елемента.

Очікувана кількість відказів системи за рік:

$$m_o = \lambda t_p \quad (7.4)$$

де t_p – час роботи системи протягом року.

Очікуваний сумарний час простою технологічного обладнання за рік:

$$t_{nc} = m_o \cdot t_{np}, \quad (7.5)$$

де t_{np} – час простою технологічного обладнання при одному відказі;

$$t_{np} = t_{eB} + T_B, \quad (7.6)$$

де t_{eB} – затрати часу на виклик ремонтнообслуговуючого персоналу

Коефіцієнт готовності

$$K_z = \frac{t_B}{t_B + t_{np}} = \frac{t_p}{t_p + t_{nc}} \quad (7.7)$$

де t_p – безвідказний час роботи обладнання.

При автоматизації технологічних процесів простої можливості як через технологічне обладнання, так і через вихід з ладу елементів системи автоматизації:

$$t_{nc} = t_{nT} + t_{na}, \quad (7.8)$$

де t_{nT} – час простою через відкази технологічного обладнання;

t_{na} – час простою через відкази елементів схем автоматизації.

$$t_{nc} = \frac{t_p(1 - K_r)}{K_r} \quad (7.9)$$

Імовірність безвідказної роботи :

$$p=e^{-\lambda T}, \quad (7.10)$$

де T – заданий інтервал часу.

Проведемо розрахунок показників надійності для систем автоматичного регулювання кислотності та концентрації живильного розчину. Дані розрахунків заносимо в табл. 7.1. та табл. 7.2. значення інтенсивності відказів, які враховують реальне електричне навантаження елементів, прийняті на основі аналізу роботи системи електрообладнання за даними (Ефимов И.Е., Кальман И.Г., Мартынов В.И., Надежность твердых интегральных схем. – М.: Изд-во стандартов, 1997 – 217с. и Сотсков Б.С. Основы теории автоматики надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. – М.: Высш. шк., 1989 – 270с.)

Для даних систем автоматичного регулювання коефіцієнт готовності $K_r=0,98$, безвідказний час роботи протягом року $t_p=560$ год., середні затрати часу на виклик ремонтно-обслуговуючого персоналу $t_{ев}=1,2$ год.

Таблица 7.1

Розрахунок показників надійності САР концентрації живильного розчину

Елементи схеми керування	Кількість, шт. n_i	$\lambda_i, 10^{-6}$ $\frac{1}{2}$ год.	$t_{Bi},$ год.	$\Sigma \lambda_i n_i,$ $10^{-6} \frac{1}{2}$ год.	$\Sigma \lambda_i n_i t_{Bi}$ 10^{-6}
1	2	3	4	5	6
1. Керуючий пристрій, у т.ч.	1			30,529	6,1817
1.1.Блок живлення	1			8,85	2,5
Трансформатори	2	0,5	0,8	1,0	0,8
Тумблер	1	0,1375	0,25	0,1375	0,0344
Діод кремнієвий	13	0,2	0,2	2,6	0,52
Діод германієвий	3	0,3	0,2	0,9	0,18
Транзистор кремнієвий	4	0,5	0,25	2,0	0,5
Резистор постійний	9	0,03	0,1	0,27	0,027
Резистор змінний	1	1,2	0,2	1,2	0,24
Конденсатор електролітичний	5	0,035	0,2	0,175	0,035
Конденсатор керамічний	1	0,0625	0,2	0,0625	0,0125

Плавкий запобіжник	1	0,5	0,03	0,5	0,15
Роз'єм	1	0,005	0,3	0,005	0,0015
1.2 Мікроконтролер	1			7,92	1,6505
Мікросхема	6	0,08	0,3	0,48	0,144
Регистор постійний	44	0,03	0,1	1,32	0,132
Діод кремнієвий	13	0,2	0,2	2,6	0,52
Транзистор кремнієвий	6	0,5	0,25	3	0,75
Конденсатор електролітичний	4	0,035	0,2	0,14	0,028
Конденсатор керамічний	6	0,0625	0,2	0,375	0,075
Роз'єм	1	0,005	0,3	0,005	0,0015
1.3. Пристрій спряження з дотиками	1			1,075	0,2205
Мікросхема	7	0,08	0,3	0,56	0,168
Резистор постійний	17	0,03	0,1	0,51	0,051
Роз'єм	1	0,005	0,3	0,005	0,0015
1.4. Пристрій спряження з виконавчими механізмами	1			12,684	1,8107
Мікросхема	5	0,08	0,3	0,4	0,12
Резистор постійний	21	0,07	0,1	1,47	0,147
Транзистор кремнієвий	10	0,5	0,25	5,0	0,125
Діод кремнієвий	3	0,2	0,2	0,6	0,12
Оптопара кремнієва	3	0,7	0,25	2,1	0,525
Симістор	3	1,0	0,25	3	0,75
Конденсатор електролітичний	3	0,035	0,2	0,105	0,021
Роз'єм	1	0,009	0,3	0,009	0,0027
2. Автоматичний вимикач	3	0,1375	0,25	0,41	0,1025
3. Магнітний пускач	3	10	0,34	30	10,2
4. Концентратомір	1	47,6	1	47,6	47,6
5. Багатоканальний регулятор	1	68,0	0,9	68,0	61,2
6. Перемикач	1	0,175	0,9	0,175	0,1575
Всього:	X	X	X	176,71	125,44

Розрахунок показників надійності САР кислотності живильного розчину

Елементи схеми керування	Кількість, шт. n_i	$\lambda_i, 10^{-6}$ $\frac{1}{2}$ год.	$t_{vi},$ год.	$\sum \lambda_i n_i,$ $10^{-6} \frac{1}{2}$ год.	$\sum \lambda_i n_i t_{vi}$ 10^{-6}
1	2	3	4	5	6
1. Керуючий пристрій, в т.ч. 1.1.	1			30,689	6,254
Блок живлення	1			8,85	2,5
1.2 Мікроконтролер	1			7,92	1,6505
1.3 Пристрій спряження з датчиками	1			1,075	0,2205
1.4 Пристрій спряження з виконавчими механізмами	1			12,844	1,883
Мікросхема	7	0,08	0,3	0,56	0,168
Резистор постійний	21	0,07	0,1	1,47	0,147
Транзистор кремнієвий	10	0,5	0,25	5,0	0,125
Діод кремнієвий	3	0,2	0,2	0,6	0,12
Оптопара кремнієва	3	0,7	0,25	2,1	0,525
Симістор	3	1,0	0,25	3	0,75
Конденсатор електrolітичний	3	0,035	0,2	0,105	0,021
Роз'єм	1	0,009	0,3	0,009	0,0027
2. Автоматичний вимикач	3	0,1375	0,25	0,41	0,1025
3. Електромагнітний пускач	3	10	0,34	30	10,2
4. рН - метр	1	50	1	50	50
5. Багатоканальний регулятор	1	68	0,9	68	61,2
6. Перемикач	1	0,175	0,9	0,175	0,1575
Всього:	X	X	X	179,27	127,91

Для САР концентрації живильного розчину інтенсивність відказів складає $176,71 \times 10^{-6}$ 1/ год., для САР концентрації живильного розчину $19,27 \times 10^{-6}$ 1/год.

Для САР концентрації живильного розчину показники надійності складуть:

Середнє напрацювання на відказ:

$$t_B = \frac{1}{176,71 \cdot 10^{-6}} = 5659 \text{ год};$$

Затрати часу на усунення відказу:

$$T_B = 1,5 \frac{125,44 \cdot 10^{-6}}{176,71 \cdot 10^{-6}} = 1,06 \text{ год.}$$

Очікувана кількість відказів системи за рік:

$$m_o = 176,71 \cdot 10^{-6} \cdot 5756 = 1;$$

Час простою технологічного обладнання:

$$t_{np} = 1,2 + 1,06 = 2,26 \text{ год.};$$

Коефіцієнт готовності:

$$K_g = \frac{5659}{5659 + 2,26} = 0,9996;$$

Очікуваний час простою технологічного обладнання з урахуванням відказів елементів схем автоматизації:

$$t_{nc} = \frac{5760(1 - 0,9996)}{0,9996} = 2,3 \text{ год.}$$

Імовірність безвідмовної роботи за 1000 год.

$$P = e^{-0,17671} = 0,84$$

Для САР кислотності живильного розчину показники надійності складуть:

Середнє напрацювання на відказ:

$$t_B = \frac{1}{179,27 \cdot 10^{-6}} = 5578 \text{ год.};$$

Затрати часу на усунення відказу:

$$T_B = 1,5 \frac{127,91 \cdot 10^{-6}}{179,27 \cdot 10^{-6}} = 1,07 \text{ год.};$$

Очікувана кількість відказів системи за рік

$$m_o = 179,27 \cdot 10^{-6} \cdot 5760 = 1,03;$$

Час простою технологічного обладнання:

$$t_{np} = 1,2 + 1,07 = 2,27 \text{ год.};$$

Коефіцієнт готовності:

$$K_z = \frac{5578}{5578 + 2,27} = 0,9996 ;$$

Очікуваний час технологічного обладнання з урахуванням відказів елементів схем автоматизації:

$$t_{nc} = \frac{5760(1 - 0,9996)}{0,9996} = 2,3 \text{ год.}$$

Імовірність безвідмовної роботи за 1000 год.

$$P = e^{-0,17927} = 0,84$$

Визначимо строк окупності САР кислотності і концентрації живильного розчину. Для цього проведемо розрахунок вартості даних систем автоматичного регулювання (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Розрахунок вартості системи автоматичного регулювання кислотності та концентрації живильного розчину у блоці теплиць

Апарати, прилади і інші елементи	Тип, марка	Кількість, шт	Вартість, грн	
			ціна	сума
Керуючий пристрій		1	20000	20000
Пакетний перемикач	УП5316	2	2000	4000
Автоматичний вимикач	АЕ2046М	6	420	420
Магнітний пускач	ПМЛ 1210	6	600	3600
Концентратомір	КС-1М-7К	4	13000	52000
рН-метр	рН-4110	4	23000	92000
Провід монтажний			450,0	450
Ящик керування		1	1500,0	1500,0
Всього				173970
Монтаж 13 %				22616
Всього на 4 га				196586

Після вводу системи автоматичного регулювання кислотності і концентрації живильного розчину урожайність овочевих культур зростає на 8 % (на 2,42 кг/м²). При цьому прибуток складе

$$\Pi = (90 - 80) \cdot 2,42 \cdot 40000 = 968000 \text{ грн,}$$

де 90 – ціна реалізації овочів;

80 – собівартість виробництва овочів;

40000 – площа теплиць.

Строк окупності дорівнює :

$$T_{\text{ок}} = 196586 / 968000 = 0,2 \text{ року або } 2,4 \text{ місяця.}$$

ВИСНОВКИ

1. Аналіз технологій вирощування овочів у закритому ґрунті показує, що найбільш перспективною є гідропонна технологія з багаторазовим використанням розчину (NFT), яка дозволяє одержувати більш високі врожаї порівняно з ґрунтовими теплицями при менших витратах води, мінеральних добрив і енергії. При цій технології визначальним є збалансованість складу живильного розчину і своєчасна подача його рослинам. Тому одним із важливих шляхів підвищення урожайності рослин у закритому ґрунті є створення комплексу обладнання для автоматичного керування процесом приготування і подачі живильного розчину, стабілізація його концентрації і кислотності в процесі живлення рослин.

2. Кислотність живильного розчину регулюється шляхом подачі в змішувальний резервуар ортофосфорної кислоти, при цьому його електропровідність змінюється не більше, ніж на 0,004 см/м. Концентрація розчину регулюється подачею концентрованих розчинів добрив, що не викликає зміну його більше, ніж на 0,05 од. рН. Регулювання за вказаним параметрам можна розглядати як незв'язане у двох одноконтурних системах, при цьому статична похибка, викликана наявністю перехресних зв'язків, не перевищує похибки вимірювальних перетворювачів.

3. Передатні функції змішувального резервуара як об'єкта керування за каналами регулювання кислотності і концентрації розчину апроксимуються інтегруючою і запізнювальною ланками. Об'єкт керування характеризується великим часом запізнювання, яке складає для каналу регулювання кислотності 528 с, концентрації розчину – 1284 с. Динамічні характеристики об'єкта керування, а також необхідність роздільної подачі у змішувальний резервуар компонентів живильного розчину для запобігання випаданню в осад мінеральних елементів підтверджують доцільність застосування імпульсного закону регулювання

4. Одержані аналітичні вирази для визначення параметрів налагодження релейно-імпульсного регулятора для астатичного об'єкту першого порядку з запізнюванням із умови мінімуму сумарного квадратичного відхилення і абсолютної стійкості системи. Тривалість імпульсу регулятора кислотності складає 111 с, регулятора концентрації розчину при вирощуванні огірків – 153 с, томатів – 135 с, а інтервал квантування по часу – 1140 с.

5. На основі проведених досліджень розроблений комплект обладнання для автоматичного керування приготуванням і подачі живильного розчину в гідропонних теплицях і алгоритм його роботи. Точність регулювання кислотності розчину складає 0,2 од. рН, а його питомої електропровідності 0,02 см/м, що відповідає агротехнічним вимогам.

6. Ймовірність безвідмовної роботи електрообладнання за 1000 год становить 0,84, а строк окупності комплекту обладнання складає 2,4 місяці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Göhler F., Drews M. Fortschritte bei der Produktion von Gewachshausgurken durch Anwendung des Narchrflie verfahrens // Gartembau. – 2020. – Jg. 37, №2. – S. 38-40.
2. Greenhouse Production In Japan. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ponics.ru/2009/07/greenhouse_production_in_japan/.
3. Centermans N. Entwicklung und Einführung der NFT im Belgichen Unterglasgemüsebau // Der Gartenbau ingenieu. – 2020. – Jg.35, №2 – S. 35-37.
4. Литвиненко Р. В., Міхеєнко В. М. Перспективи використання гідропоніки в Україні для вирощування салатів та овочів. Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство». м. Київ, 2021 р.
5. Welleman J. C. C., Verwer F. L. The Technical Installation for Grodan Rockwool // Pros. of the 6th Intern. Cong. on Soilless Culture. – Lunteren, 1984. – P. 763 – 771.
6. Hurd R. G. Current Research and Developments in Soilless Culture with Particular Reference to NFT // Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production. – Honolulu, 2021. – P. 164-170.
7. Suzuki H. The Sandponics Cultivation System // Pros. of the 6th Intern. Cong. on Soilless Culture. – Lunteren, 2014. – P. 651 – 659.
8. Васильковська К. В., Ковальов М. М., Андрієнко О. О., Корнічева Г.І. Технічне забезпечення гідропоніки, як прогресивного виду вирощування овочевих культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2022. Вип. 52. С.81-86.
9. Welleman J. C. C., Verwer F. L. The Technical Installation for Grodan Rockwool // Pros. of the 6th Intern. Cong. on Soilless Culture. – Lunteren, 2014. – P. 763 – 771.

10. Bechrendt W., Diezemann M. Automatisierung sanlage DWA 500 des VEB Gerateund Reglerwerk Leipzig zur kompiexem Automatizierung der Gewachshauer // Gartenbau. – 2015. – Jg.32, №1. – S. 5-6.
11. Graves C .J. The Nutrient Film Technique // Horticulturar Rewiews. – 2013. – Vol.5. – P. 1-44.
12. Gierling T.H. Electronics. Sensors and Software for Micro Electronics in Greenhouses // Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production. – Honolulu, 2015. – P. 36-41.
13. Göhler F., Heissner A., Schmeil H. Control of water and nutrient supply in greenhouse // Acta hortoc. – 2019. – Vol. 260. – P. 237 – 254.
14. Resent Development of Hydroponics in Japan | Suzuki Y., Shinohara Y., Shibuga M., Ikeda H. // Pros. Of the 6th Intern. Cong. on Soilless Cult. – Lunteren, 2014. – P.661 – 671.
15. Vlasov S. The impact of residual magnetization on accelerating grout mixture coagulation processes and their physical and mechanical properties / S. Vlasov, S. Tymchenko, O. Sinitsyna, O. Buhrim // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2017. - № 4. - С. 5-13. (**Scopus**)
16. Синявський О.Ю., Савченко В.В. Автоматичне керування приготуванням живильного розчину в гідропонних теплицях / Енергетика і автоматика. – 2017. – № 1. – С. 16-27.
17. Синявський О.Ю., Савченко В.В. Оптимізація системи автоматичного керування кислотності та концентрації живильного розчину в гідропонних теплицях / Енергетика і автоматика. – 2017. – № 2. – С. 23-37.
18. Синявський О.Ю., Савченко В.В. Оптимізація системи автоматичного керування подачею живильного розчину в теплицях / Енергетика і автоматика. – 2017. – № 3. – С. 111-121
19. Синявський О.Ю., Савченко В.В. Автоматичний контроль концентрації та кислотності живильного розчину в гідропонних теплицях / Енергетика і автоматика. – 2017. – № 4. – С. 123-132.

20. Синявський О.Ю., Соломко Н.О., Кістень В.Г. Автоматичне керування подачею живильного розчину в теплицях Енергетика і автоматика. - 2020. - № 6. С. 118-127.
21. Синявський О.Ю. Оптимізація нелінійних імпульсних систем автоматичного регулювання з астатичними об'єктами /О.Ю Синявський, Н. Соломко, В. Кістень// Енергетика і автоматика. – 2021. – № 1. С. 61-70.
22. Електропривод виробничих машин і механізмів: Навчальний посібник / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, Д. Г. Войтюк, В. Я. Бунько, В. Ю. Рамш.– К.:Компринт, 2020. – 444 с.
23. Електропривод і автоматизація: Підручник / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, В.В. Козирський, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш; За ред. О.Ю. Синявського. – К., 2019: ЦП «Компринт». – 619 с.
24. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Соломко Н.О. Електрифіковані технології в АПК. Ч. 2. Автоматизований електропривод. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2022. 534 с.
25. Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / Іноземцев Г. Б., Козирський В. В., Лут М. Т., Радько І.П., Синявський О.Ю. – 2-е вид., перероб. і доп. – К., 2014. – 525 с.
26. Лут М.Т., Радько І.П., Тракай В.Г., Чміль А.І. Безпека праці в сільських електроустановках : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Лут М.Т., Радько І.П., Тракай В.Г., Чміль А.І. – К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012- 430 с.
27. Червінський Л.С., Сторожук Л. О. Електричне освітлення та опромінення: Посібник. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. - 214 с.
28. Kozyrskyi V. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field / V. Kozyrskyi, V. Savchenko, O. Sinyavsky // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global, 2018. P. 576 – 620. **(Scopus)**

29. Бондаренко Г.Л. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / Г.Л. Бондаренко, К.І. Яковенко. – Х., 2001. – 365 с.
30. Ромащенко М. Капельное орошение овощных культур. История, современное состояние и перспективны развития в Украине / М.Ромащенко, А.Шатковский, С.Рябков // Овощевод. – 2009. – №2. – С. 66-70.
31. Городній М.М. Агрохімія: [Підручник]. – 4-те видання перероблене та доповнене. / М.М. Городній. – К: Вид. ТОВ «Арістей», 2008. – 935 с.
32. Фізіологія рослин. /За редакцією професора М. М. Макрушина. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 416 с.
33. Kozyrskyi V., Savchenko V., Sinyavsky O. The processing of irrigation water and artificial fertilizer solutions in magnetic field. International journal of energy optimization and engineering, 2020 (9 (4), pp.74-83. (**Web of Science**).
34. ССБП ДСТУ 2293-93. "Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення".
35. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.
36. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт, 1995. – 260 с.
37. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж /Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт, 1995. - 81с.
38. Правила безпечної експлуатації електроустановок. ДНАОП 1.1.10-1.01-97. Держнаглядохоронпраці України. - К.: Основа, 1997. - 265 с.
39. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00.1.21.-98. /Держнаглядохоронпраці України.: - К.: Основа, 1998. – 380 с.