

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

УДК 631.371:621.31

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ІНІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./  
вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання, науковий ступінь підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 р.  
число місяць рік

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 р.  
число місяць рік

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему: **„РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ  
МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ У ТЕПЛИЦЯХ”**

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 кваліфікаційної роботи**

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

Савченко В.В.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тарасюк А.В.  
(ПІБ)

**КИЇВ – 2024**

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки та**  
**електротехнологій**  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ /ОКУШКО О.В./  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
**СТУДЕНТУ**  
**Тарасюку Андрію Вячеславовичу**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Розроблення та дослідження електротехнологічного обладнання для магнітної обробки водних розчинів у теплицях”

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 11 . 2024

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз літературних джерел, присвячених магнітній активації водних розчинів.

2. Обґрунтувати спосіб індикації ефекту магнітної обробки водних розчинів.

3.Провести теоретичні і експериментальні дослідження зміни параметрів руди і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці.

4.Провести дослідження впливу магнітної обробки поливної води на ріст і розвиток рослин.

5.Обґрунтувати параметри пристрою для магнітної обробки водних розчинів і розробити методику його розрахунків.

6.Розробити і провести дослідження системи автоматичного керування магнітною обробкою водних розчинів у теплиці.

Дата видачі завдання 27.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ **Савченко В.В.**  
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ **Тарасюк А.В.**  
(підпис) (ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: 73 с., 24 рис., 18 табл., 40 джерел.

**Об'єкт досліджень** – процес магнітної обробки водних розчинів.

**Предмет досліджень** – режими магнітної обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив у теплицях та параметри відповідного електрообладнання.

**Методи дослідження та апаратура:** моделювання, методи математичної статистики, теорії планування експерименту та ін.; рН-метр рН –150МА, іономір И-160М, тесламетри, амперметри, вольтметри.

Проведений аналіз стану і перспектив розвитку овочівництва закритого ґрунту, проаналізовані тенденції розвитку технологій і напрямки застосування електротехнологій.

Проведені теоретичні і експериментальні дослідження зміни параметрів поливної води і живильних розчинів при магнітній обробці і визначенні оптимальні параметри обробки.

Обґрунтовані параметри і розроблена методика розрахунку пристроїв для магнітної обробки розчинів з електромагнітами та проведені їх дослідження. Розроблена система автоматичного керування магнітною обробкою розчинів, наведені техніко-економічні показники застосування електротехнологій при вирощуванні овочів у теплицях

Галузь застосування – сільське господарство.

**Ключові слова:** поливна вода, живильні розчини, магнітне поле, магнітна індукція, градієнт магнітного поля, швидкість руху води, урожайність.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В ОВОЧІВНИЦТВІ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ .....	10
1.1 Аналіз стану і перспективи розвитку овочівництва закритого ґрунту.....	10
1.2 Основні тенденції розвитку технологій вирощування овочів у спорудах захищеного ґрунту і напрямки застосування електротехнологій .....	11
1.3. Магнітна обробка поливної води і розчинів мінеральних добрив .....	15
1.4 Електрифікація і автоматизація технологічних процесів у теплиці з малооб’ємною гідропонікою .....	20
1.4.1 Регулювання мікроклімату у теплиці.....	20
1.4.2 Освітлення і опромінення рослин у теплицях.....	23
1.4.3 Вуглекислотне підживлення рослин у теплицях .....	23
1.4.4 Приготування і подача живильного розчину у теплицях .....	25
1.4.5 Електропостачання теплиць .....	28
1.5 Завдання досліджень .....	29
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
2.1 Програма досліджень .....	31
2.2 Методика досліджень.....	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ І РОЗЧИНІВ ДОБРИВ. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ .....	36
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ВОДИ ТА РОЗЧИНІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ПРИ МАГНІТНІЙ ОБРОБЦІ.....	42
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ РОЗЧИНІВ І МЕТОДИКА ЇЇ РОЗРАХУНКІВ.....	53

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ .....	57
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	66
ДОДАТКИ.....	70

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

$A$  – коефіцієнт;  
 $a_{n+}$  - активність іонів водню;  
 $B$  – магнітна індукція;  
 $C$  – концентрація речовини;  
 $d$  – діаметр;  
 $\delta$  – повітряний зазор;  
 $E$  – потенціал;  
 $E_0$  – стандартний потенціал;  
 $E_a$  – енергія активації;  
 $\varepsilon$  – енергія взаємодії;  
 $F$  – число Фарадея;  
 $f$  – коефіцієнт активності;  
 $G$  – критерій Кохрена;  
 $I$  – електричний струм;  
 $K$  – коефіцієнт швидкості;  
 $\lambda$  – довжина хвилі;  
 $m$  – маса іона;  
 $\mu$  – магнітна проникність;  
 ОВП – окислювально – відновний потенціал;  
 $P$  – потужність;  
 $R$  – універсальна газова стала;  
 $R_n$  – магнітний опір повітряного зазору;  
 $R_c$  – магнітний опір феромагнітної ділянки;  
 $r$  – радіус;  
 $\rho$  – питомий електричний опір;  
 $q$  – заряд іона;  
 $S$  – площа;  
 $S_a$  – ентропія активації;  
 $S_o$  – стандартна ентропія активації;  
 $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності;  
 $S_u^2$  – дисперсія дослідів;  
 $T$  – температура;  
 $t$  – час;  
 $U$  – напруга;  
 $v$  – швидкість руху;  
 $W$  – кількість витків;  
 $\omega$  – швидкість хімічної реакції;  
 $Z$  – заряд іона.

## ВСТУП

Овочівництво закритого ґрунту має важливе значення для забезпечення населення овочами протягом року і для виробництва розсади для відкритого ґрунту.

Тепличне овочівництво є найбільш енергоємною галуззю сільськогосподарського виробництва. Для підвищення його ефективності необхідно впровадити енерго- і ресурсозберігаючі малооб'ємні технології, які дають змогу значно підвищити урожайність та якість продукції.

Ці технології потребують розв'язання питань мінерального живлення рослин та багаторазового використання живильного розчину. Їх вирішення пов'язане із розробкою і впровадженням електротехнологій, які дозволяють інтенсифікувати процес мінерального живлення рослин та покращити використання води, енергії, мінеральних добрив. Внаслідок цього підвищується урожайність овочевих культур та якість продукції. До таких технологій належить активація поливної води.

Для успішного їх впровадження у виробництво необхідно встановити механізм дії електромагнітного поля на воду і розчини мінеральних добрив та на процес мінерального живлення рослин, визначити оптимальні режими обробки та конструктивні параметри відповідного обладнання.

Мета досліджень – обґрунтування режимів магнітної обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив у теплицях та параметрів відповідного електрообладнання, що дозволить на 10-15 % знизити витрати енергії, води та мінеральних добрив, підвищити урожайність овочевих культур та якість продукції.

Об'єктом досліджень є процес магнітної обробки водних розчинів.

Предмет досліджень – режими магнітної обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив у теплицях та параметри відповідного електрообладнання.

Методи дослідження та апаратура: моделювання, методи математичної статистики, теорії планування експерименту та ін.; рН-метр рН –150МА, іономір И-160М, тесламетри, амперметри, вольтметри.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в отриманні аналітичних залежностей зміни параметрів водних розчинів при магнітній обробці, які дали можливість визначити оптимальні параметри обробки, обґрунтуванні структури та параметрів системи автоматичного керування магнітною обробкою водних розчинів.

Практична цінність отриманих результатів полягає у визначенні режимів магнітної обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив у теплицях та розробці методики розрахунку апаратів для магнітної обробки з електромагнітами.

На захист магістерської роботи виносяться:

1. Аналітичні залежності зміни параметрів водних розчинів при магнітній обробці.
2. Режими обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці.
3. Параметри електрообладнання для магнітної обробки водних розчинів.
4. Методика розрахунку апаратів для магнітної обробки водних розчинів.
5. Структура та параметри системи автоматичного керування магнітною обробкою водних розчинів.

У цій магістерській роботі проведений аналіз стану і перспектив розвитку овочівництва закритого ґрунту, проаналізовані тенденції розвитку технологій і напрямки застосування електротехнологій, проведені теоретичні і експериментальні дослідження зміни параметрів поливної води і живильних розчинів при магнітній обробці і визначенні оптимальні параметри обробки, обґрунтовані параметри і розроблена методика розрахунку пристроїв для магнітної обробки розчинів з електромагнітами та проведені їх дослідження, розроблена система автоматичного керування магнітною обробкою розчинів, наведені техніко-економічні показники застосування електротехнологій при вирощуванні овочів у теплицях.

**Публікація.** Тарасюк А.Р., Савченко В. В. Магнітна обробка водних розчинів у теплицях. Тези доповідей 77-тої науково-практичної конференції

студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК, м. Київ, 25 квітня 2024 р. С. 57.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В ОВОЧІВНИЦТВІ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

#### 1.1 Аналіз стану і перспективи розвитку овочівництва закритого ґрунту

Овочівництво закритого ґрунту відіграє важливу роль для забезпечення населення свіжими і багатими вітамінами овочами в несезонний період, а також для забезпечення розсадою відкритого ґрунту. В даний час на Україні налічується 3160 га закритого ґрунту, з них 563 га зимових скляних теплиць і 2020 га весняних плівкових теплиць. Понад 20% площ зимових теплиць обладнано для гідропонного способу вирощування [1].

У закритому ґрунті виробництво овочів складає 250 тис. т, або 4 кг на душу населення за норми, прийнятої в країні, 13 кг. Цей середньорічний показник рівня виробництва у 6 – 10 разів нижчий, ніж у країнах з розвиненим тепличним виробництвом. Продукція у несезонний період надходить нерівномірно: на квітень – травень припадає 60 – 80%.

Урожайність овочів у закритому ґрунті низька: в зимових теплицях 21,8 кг/м<sup>2</sup>, весняних – 5,7, у утепленому ґрунті – 2,8. Вирощується не весь асортимент овочевої продукції. Якість овочів часто не відповідає сучасним вимогам споживання екологічно чистої продукції через великі дози пестицидів і недосконалість системи мінерального живлення.

Затрати енергії в зимових теплицях становлять 12 – 30 т умовного палива на 1 т продукції, металу 18 – 30, добрив 1,5 – 2,5 кг/м<sup>2</sup>. Затрати праці в перерахунку на 1 т продукції становлять 85 – 200 люд.-год. Техніко-економічні показники виробництва тепличних овочів в Україні у 2 – 4 рази нижчі від сучасного світового рівня [2].

У тепличному овочівництві для доведення споживання продукції у несезонний період до норми 13 кг на людину в асортименті (5 кг томатів, 4 кг огірків, 4 кг зелених) ставиться завдання щорічно вирощувати 650 тис. т овочів при урожайності у зимових теплицях: 30 кг/м<sup>2</sup> огірків, 20 томатів, 5 зелені [2].

Основним напрямком підвищення інтенсифікації тепличного овочівництва є перехід до енергозберігаючих технологій виробництва, так як при сучасних технологіях вирощування тепличних овочів забезпечення мінімальної норми їх споживання населенням потребувало б потужностей у піковий період (березень) 15 – 17 млн. кВт, що становить третину усіх потужностей на Україні.

У комплексі факторів енерго- та ресурсозбереження важливе місце належить технологіям вирощування овочів при використанні малооб'ємних субстратів, або на штучно створеному середовищі живлення без субстрату, а також застосування автоматичних систем забезпечення заданих режимів мікроклімату і мінерального живлення та електротехнологій [ 2].

## **1.2 Основні тенденції розвитку технологій вирощування овочів у спорудах захищеного ґрунту і напрямки застосування електротехнологій**

В даний час в Україні набули найбільшого поширення технології вирощування овочів на ґрунті та гідропонним способом на субстратах неорганічного походження .

Гідропонні технології мають ряд переваг перед вирощуванням овочів у теплицях з ґрунтом. При даних технологіях покращується використання площі закритого ґрунту, так як скорочується вегетаційний період рослин і прискорюється їх плодоношення, вища урожайність і якість продукції за рахунок регулювання складу розчину і режимів підкормки, скорочуються витрати води, добрив і теплової енергії, відсутні бур'яни, скорочуються кількість шкідників і хвороб, знижується собівартість продукції і затрати праці, відкриваються широкі можливості для комплексної механізації і автоматизації основних технологічних процесів [3, 4 ].

Застосовувані в даний час методи гідропоніки можна розділити на три групи: субстратна культура, водна культура і аеропоніка [5, 6 ].

В Україні найбільшого поширення набула гравійна гідропоніка. Рослини висаджують у водонепроникливі стелажі чи піддони, заповнені субстратом з

розмірами фракції 3 – 12 мм. Розчин подають субіригаційним методом 3 – 5 раз в день з обов'язковим незатопленням верхнього шару субстрату. Один раз в тиждень проводять аналіз живильного розчину і коректування його складу. Розчин використовують 1 – 1,5 місяці. Недоліком даної технології є необхідність будівництва дорогих піддонів і стелажів.

У зв'язку з цим в останні роки дослідження були направлені на створення економічного варіанту гідропоніки, який реалізований при вирощуванні рослин в малооб'ємних пристроях: жолобах, плівкових лотках, контейнерах, мінераловатних плитах тощо. В скандинавських країнах та Великобританії за даною технологією овочі вирощують більш як на 80% площ теплиць [1], Франції – 90% [7], а в Нідерландах овочівництво закритого ґрунту повністю перейшло на малооб'ємну гідропоніку [8]. В Японії її застосовують при вирощуванні овочів на площі більше 300 га [9], Бельгії – біля 700 га [10], Болгарії 50 га [11]. В Україні ці технології впроваджені в ВАТ “Київська овочева фабрика”, Уманському тепличному комбінаті та інших господарствах.

Із малооб'ємних технологій найбільшого поширення набули вирощування рослин на малооб'ємних субстратах (торф, мінеральна вата, цеоліт) з використанням системи краплинного поливу та тонкошарова проточна культура (NFT).

При використанні системи краплинного поливу торфо- чи мінераловатні плити кладуть на поліетиленову плівку, яку розстилають на піщану основу. Кубики з розсадою встановлюють на плити і покривають зверху чорно-білою плівкою [12, 13]. Живильний розчин з вузла приготування подається в краплинну систему поливу в залежності від інтенсивності сонячної радіації або вологості субстрату [14, 15] чи за програмою: тривалість поливання від 3 до 15 хв, всього циклу – 30 хв, паузи між циклами – 3 хв [16].

При використанні даної технології скорочуються затрати на будівництво піддонів, але втрати мінеральних добрив і води складають не менше 25% [14]. Мінеральна вата використовується один рік, тому існує проблема її утилізації.

В останні роки замість мінеральної вати почали використовувати цеоліт та перліт. У Великобританії розроблена технологія, при якій рослини висаджують у горшки, заповнені перлітом, які розміщують в жолоб із плівки. Живильний розчин подається через систему краплинного поливу, а його рештки через жолоби повертаються в резервуар. Субстрат використовується декілька років і відсутні втрати розчину [17].

Поряд з субстратними технологіями все ширше використовується вирощування овочів методом водної культури. Технологія тонкошарової проточної культури передбачає вирощування рослин в жолобах або лотках із чорної поліетиленової плівки, в яких постійно тонким шаром циркулює живильний розчин [18]. Дана технологія створює найоптимальніші умови для росту кореневої системи і є екологічно чистою [5]. При цьому зменшуються витрати води і мінеральних добрив. Основний її недолік – можливість зараження розчину патогенними кореневими мікроорганізмами. При цьому необхідно ретельно контролювати склад розчину і підтримувати його на оптимальному рівні [6].

На Федеральній станції агрономічних досліджень (Швейцарія) урожайність огірків за даною технологією на 40% перевищувала урожайність огірків на мінеральній ваті. Тому вважається, що технологія тонкошарової проточної культури стане домінуючою в найближчі роки [5].

У ВАТ “Марфино” впроваджена технологія вирощування томатів методом аеропоніки. Коренева система знаходиться в жолобах із поліетиленової плівки і періодично обприскується розчином із форсунок. Залишки розчину повертаються в резервуар [19].

Таким чином, розвиток гідропонних технологій йде шляхом зменшення об'єму використовуваного субстрату і створення системи з багаторазовим використанням розчину як для субстратної культури, так і безсубстратних технологій (водна культура, аеропоніка) [17, 20]. Це дає змогу скоротити витрати води порівняно із ґрунтовою технологією на 30%, мінеральних добрив – на 40%, теплової і електричної енергії – на 15 – 20% (1,5 – 2,0 тис. Гкал/га), затрати праці

– на 149 тис. люд.-год., за рахунок оптимізації мінерального живлення підвищити урожайність овочевих культур на 25 – 30% [11].

При цьому необхідно вирішити такі питання:

1. Розробити системи поелементного контролю і регулювання складу розчину, що обумовлено малим об'ємом субстрату і розчину в системі, які припадають на одну рослину [21].

2. Вирішити питання знезаражування розчину і боротьби з кореневими хворобами [17].

3. Підвищити ефективність використання добрив і покращення режиму мінерального живлення за рахунок застосування електротехнологій [22].

Нині випускається обладнання, яке дає можливість автоматично підтримувати на заданому рівні в теплиці параметри мікроклімату, приготування розчинів мінеральних добрив заданого складу з регулюванням рН та електропровідності.

Контроль мінерального складу ґрунтів, живильних розчинів та субстратів здійснює агрохімічна служба господарств на основі хімічних аналізів, що не дає можливість здійснювати безперервний контроль за мінеральним живильним живленням. При багаторазовому використанні розчину його рН змінюється на 0,7 – 0,8 одиниць, а концентрація мінеральних елементів на 60 – 90% [6], хоча відхилення концентрації окремого елемента на 30% від оптимального значення викликає порушення споживання рослинами інших елементів [23], що веде до зниження урожайності і якості продукції.

Рослини споживають поживні речовини у дисоційованому стані у вигляді іонів. Транспорт елементів живлення в клітину забезпечується двома автономними механізмами – пасивним потоком речовин за електрохімічним градієнтом та активним перенесенням проти електрохімічного градієнта. Так як іони мають електричний заряд, то їхній розподіл між клітиною і середовищем визначається як різницею електричних потенціалів, так і дифузиею внаслідок різниці концентрацій (електрохімічний градієнт) [23].

Дослідженням встановлено, що електричні явища відіграють важливу роль в житті рослин. У відповідь на зовнішні подразнення в них виникають дуже слабкі струми (біоструми). В зв'язку з цим можна припустити, що зовнішнє електричне поле може значно впливати на ріст рослин.

Вчені Інституту фізіології рослин ім. К.А.Тімірязєва встановили, що фотосинтез йде тим швидше, чим більша різниця потенціалів між рослинами і атмосферою. Якщо потенціали рослин і атмосфери близькі, то рослини перестають споживати вуглекислий газ.

Пропускаючи електричний струм через рослини, можна регулювати не тільки фотосинтез, але і кореневе живлення, Американські дослідники встановили, що кожний елемент засвоюється рослиною при певній силі струму. Стимуляція росту можлива тільки в тому випадку, якщо до рослини під'єднувався негативний електрод; при зміні полярності електричний струм, навпаки, гальмує ріст рослин. Стимуляція спостерігається навіть при малій силі струму ( для тютюну 1 мкА, для черенків при укоріненні 60 мкА). Така дія струму пояснюється тим, що рослина сама заряджена негативно. Під'єднання негативного електрода збільшує різницю потенціалів між ним і атмосферою, а це позитивно впливає на фотосинтез [24].

В даний час експериментальними дослідженнями встановлено, що поливання рослин активованою водою, обробленою в магнітному полі, електричним струмом, заморожуванням і розморожуванням, дає певний ефект, пов'язаний із збільшенням урожайності [25]. При цьому покращуються використання мінеральних добрив. Урожайність культур підвищується на 10 – 15%, покращується склад овочів, знижуються витрати енергії на досвічування розсади на 4 – 5 кВт·год на одну рослину [26].

### **1.3. Магнітна обробка поливної води і розчинів мінеральних добрив**

Експериментально встановлено, що магнітна обробка води змінює її фізико-хімічні властивості: прискорюються коагуляція і абсорбція, змінюються

розчинність солей і концентрація газів, кристалізація і змочування, магнітна сприйнятливість, в'язкість, гідратація іонів, кінетика хімічних реакцій.

Магнітна обробка розчинів також впливає на біологічні системи [22]:

а) зміна структури води впливає на біологічні утворення, які знаходяться в розчині;

б) магнітна обробка води впливає на проникливість мембрани, яка є основою обміну речовин в живих системах;

в) після магнітної обробки змінюється композиція іонних систем, які знаходяться в воді, а також гідратація окремих іонів;

г) змінюються умови транспорту кисню до тканин організму.

Теорія електромагнітної обробки водних систем знаходиться на стадії висунення і обґрунтування гіпотез, які можна розділити на три групи: “колоїдні” пов'язують ефект магнітної обробки з дією на колоїдні частки з великою магнітною сприйнятливістю: “іонні” – пов'язують дію магнітного поля на іони, які знаходяться в воді: “водяні” – дію магнітного поля на структуру води [27].

Ефекти магнітної обробки пов'язані із дією сили Гуї або Лоренца. Сила Гуї діє на феромагнітні частки і приводить в рух як самі частки, так і оточуючі шари рідини, створюючи інтенсивне перемішування (мікротурбулентність) всередині системи. Сила Лоренца діє на заряджені частки. В гетерогенній системі вона створює мікротурбулентність, приводить в рух частки суспензії чи газові бульбашки, а в гомогенних водних розчинах – змінює напрям руху іонів, викликаючи їх круговий рух. Під дією сили Лоренца іони починають рухатися навколо силових ліній магнітного поля із визначеною частотою. При взаємному пересуванні магнітного поля і рідини виникає магнітофорез – направлений анізотропний рух іонів всередині розчину (дрейф іонів), викликаний силами Лоренца. При цьому підвищується вірогідність взаємодії катіонів і аніонів внаслідок зменшення відстані між ними. Згідно теорії Арреніуса, вірогідність асоціації іонів пропорційна ступеню їх зближення і часу перебування одного поблизу другого [28].

В гомогенних системах сила Лоренца викликає круговий рух іонів із радіусом

$$r = \frac{mv}{qB}, \quad (1.1)$$

де  $m$  – маса іона;

$v$  – швидкість;

$q$  – заряд іона;

$B$  – магнітна індукція.

Якщо  $l/2\pi r < 1$ , де  $l$  – шлях вільного пробігу іона, то іони, здійснюючи неповний круговий рух, переміщуються через зону поля, але це переміщення буде довшим, ніж без поля, внаслідок чого збільшується концентрація іонів у зоні дії магнітного поля. Виникає ефект обробки.

Якщо  $l/2\pi r = 1$ , то під час вільного пробігу кожний іон здійснює повний оберт колом. Концентрація іонів у зоні дії поля не змінюється, ефект магнітної обробки не проявляється. Відсутній ефект і за умови  $l/2\pi r = 0$ .

При  $l/2\pi r \gg 1$ , значно збільшується кількість іонів, які вивільняються із каркасу води, що викликає зростання електричної провідності розчину.

Таким чином, буде чи не буде виникати ефект магнітної обробки, який буде знак цього ефекту залежить від співвідношення  $l/r$ , тобто від того, які саме іони знаходяться у розчині і від значення магнітної індукції. Різні поєднання цих факторів може призвести до зовсім протилежних результатів. Тому в кожному конкретному випадку необхідно підбирати оптимальні режими обробки.

При магнітній обробці водних систем встановлені такі емпіричні залежності:

1. В усіх випадках, коли під час магнітної обробки не виникають будь-які незворотні зміни системи, ефект магнітної обробки після короткочасного зростання поступово зникає.

2. В багатьох випадках спостерігається складна поліекстремальна залежність ефектів від характеристик магнітного поля (напруженості, градієнта поля, частоти). В деяких випадках спостерігається зворотний ефект.

В останні роки виявлений значний вплив таких характеристик магнітного поля, як градієнт напруженості і частота. Досліди з виявлення впливу градієнта поля та частоти необхідно продовжувати [22].

Можна передбачити вплив частоти магнітного поля на магнітну обробку водних систем. Електромагнітні поля невисоких частот впливають на систему, ступінь їх дії залежить від числа пар полюсів, геометричних характеристик апарата і швидкості потоку. Вплив полями високої частоти детально не вивчається.

Роль реверсу при магнітній обробці зводиться до того, що іони, які при електромагнітодинамічному русі накопичуються біля стінок трубопроводу, починають рухатися до протилежної стінки, що викликає додаткову взаємодію їх між собою і посилює ефект обробки.

3. Майже в усіх дослідженнях визначається наявність оптимальної швидкості потоку.

4. Ефект магнітної обробки залежить від складу водної системи.

Більшою мірою електромагнітна обробка впливає на гетерогенні водні системи чи процеси, пов'язані з фазовим перетворенням [22]: поверхневий натяг, адсорбцію, розчинність, кристалізацію, полімеризацію, змочування, коагуляцію, зміни при фазових перетвореннях води, зміни електрохімічних явищ, іонний обмін.

Апарати для магнітної обробки водних систем бувають з постійними магнітами та електромагнітними (всередині корпусу або поза ним).

Перевагою апаратів з постійними магнітами є простота конструкції, відсутність необхідності в електропроводці, можливість застосування у вибухонебезпечних приміщеннях. Апарати із електромагнітами дають можливість отримувати і регулювати більші магнітні індукції.

Дослідженнями встановлено, що на апаратах з імпульсними полями при однакових індукціях досягаються більш помітні ефекти, ніж на апаратах інших типів. Тому в даному випадку область робочих індукцій може бути зниженою.

Оптимальне значення магнітної індукції для більшості апаратів лежить в межах 0,04 – 0,2 Тл при швидкості потоку 0,5 – 2,5 м/с і числі перемагнічувань від 3 до 8 [28].

Важливим питанням при вивченні магнітної обробки води є індикація її ефекту. Дане питання пророблене дуже слабо [27]. Головним завданням дослідників, що працюють в даній області, є пошук безперервно діючого датчика, який дозволив би створити систему автоматичного керування, що забезпечить роботу апаратів в оптимальних режимах для різних типів розчинів. Перспективними є методи індикації магнітної обробки за швидкістю зміни рН та електропровідності розчину [22].

Магнітна обробка води в даний час, в основному, знайшла найбільше застосування для боротьби з накипом в котельнях [29]. Відомі приклади її успішного застосування також в сільському господарстві: для замочування насіння, поливання рослин, розсолення ґрунтів.

При поливанні культур магнітоактивованою водою знижується лужність ґрунту, що сприяє перетворенню азоту, фосфору, калію в споживану рослинами форму. Вміст цих речовин в рослинах підвищується на 10 – 15%, а урожайність – на 15 – 20% [22].

М.Марков із Софійського університету приводить дані, що при поливанні томатів магнітоактивованою водою їх урожайність підвищилася на 21%, в плодах містилося на 10% більше мінеральних солей. Через 3 місяці вміст азоту і бору в рослинах зріс відповідно на 12 і 24,6% [22].

Ергун Ар проводив досліді з поливу магнітоактивованою водою томатів. Сто кущів томатів посадили в бідний ґрунт і сто – в удобрений, родючий. Кожну ділянку розділили навпіл і поливали звичайною і магнітоактивованою водою. Для бідного ґрунту істотної різниці не виявлено, а для родючого різниця була помітною: „рослини, які поливалися магнітоактивованою водою, за всіма показниками перевершили контрольні на 30%... Можна передбачити, що обробка води впливає на кальцієвий баланс і на засвоєння рослинами поживних речовин” [22].

В “Работническо дело” №137, 17 травня 1982 р. повідомляється, що на площі 2700 м<sup>2</sup> збільшилася скороспілість томатів на 26% і на 53% збільшилася їх урожайність (з 150 до 230 ц/га). При цьому в плодах підвищився вміст вітаміну С, цукру і сухої речовини.

За даними ВІЕСГу урожайність томатів при магнітній обробці води, субстрату і живильних розчинів підвищується на 10,1 – 22,4 % [26]. Таким чином, поливання магнітоактивованою водою впливає на засвоєння рослинами поживних речовин і прискорює їх ріст, підвищує урожайність, збільшує вміст мінеральних солей, цукру і сухої речовини. Така вода має фунгіцидні властивості, придушуючи процес спороутворення фітопатогенних грибків [24].

Підвищення урожайності при магнітній обробці пов'язують із такими факторами: підвищенням розчинності і використання рослинами мінеральних добрив; дегазацією поливної води і насиченням її киснем; підвищенням проникливості біологічних мембран (що призводить до покращення споживання поживних речовин).

Необхідно підкреслити, що підвищення ефективності використання мінеральних добрив, є одним з найважливіших державних завдань [22]. Навіть невелике збільшення коефіцієнта використання мінеральних елементів дозволить зекономити великі кошти.

## **1.4 Електрифікація і автоматизація технологічних процесів у теплиці з малооб'ємною гідропонікою**

### **1.4.1 Регулювання мікроклімату у теплиці**

Основними параметрами мікроклімату в теплицях є температура і вологість повітря, його газовий склад, температура і вологість субстрату.

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 безканальним способом, а також над землею на опорах тощо.

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

Вибір потужності та енергетичного типу котельної здійснюється за тепловим навантаженням тепличного об'єкту, необхідних для нього видів та параметрів теплоносіїв, з урахуванням кліматичних умов та структури теплового балансу району будівництва.

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 мілкодисперсного зволоження і випарувального охолодження. Система випарувального охолодження включає магістральні трубопроводи із сталевих труб, колектори – із сталевих оцинкованих труб і зрошувачі – з полімерних труб з розпилювачами.

В теплицях застосовуються такі системи автоматичного регулювання (САР) параметрів мікроклімату.

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

Діапазон зміни температури у межах 40 °С, точність регулювання  $\pm 1$  °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 самоналагоджувальну 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.

Регулювання вентиляції. Для підтримання в теплиці заданої температури САР передбачає 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  $\pm 2$  °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 вмикання системи “Туман” для 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.

### 1.4.2 Освітлення і опромінення рослин у теплицях

В теплицях передбачається тільки чергове освітлення проходів. Для освітлення використовуються світильники з люмінесцентними лампами 11ПВЛМ(2x40) в кількості 13 шт.

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 використовують штучне електричне досвічування, яке скорочує час вирощування розсади на 25 – 30 днів, і тим самим підвищує урожайність на 25 – 30%.

Для опромінення розсади у розсадному відділенні застосовують опромінювальні установки з лампами ДРЛФ-400 (ОТ-400М) та з металогалогенними лампами (УОРТ). Установки з металогалогенними лампами мають більший потік випромінювання і вищий к.к.д.

### 1.4.3 Вуглекислотне підживлення рослин у теплицях

У типових проектах блочних теплиць застосовуються системи вуглекислотного підживлення рослин з використанням генератора УГ-6, але ці системи практично не використовуються, тому що мають багато недоліків, які суттєво впливають на розвиток та ріст рослин:

- згоряння газу викликає перегрів теплиць, тому використання генераторів CO<sub>2</sub> практично неможливе в часи максимальної освітленості, коли теплиці перегріваються під дією сонячного проміння, але якраз у цей час потреба в CO<sub>2</sub> найбільша;
- генератори CO<sub>2</sub> виділяють токсичні продукти горіння, тому їх експлуатація небезпечна для обслуговуючого персоналу;

➤ при відкритих фрамугах перегріта вуглекислота інтенсивно випаровується, тому вмикання генераторів CO<sub>2</sub> практично не впливає на кількість вуглекислого газу в атмосфері теплиць.

Для забезпечення тепличних комбінатів надійним вуглекислотним підживленням протягом усього року доцільно використання комбінованих схем з використанням при необхідності зрідженої вуглекислоти або відхідних газів котельних (рис.1.1.).

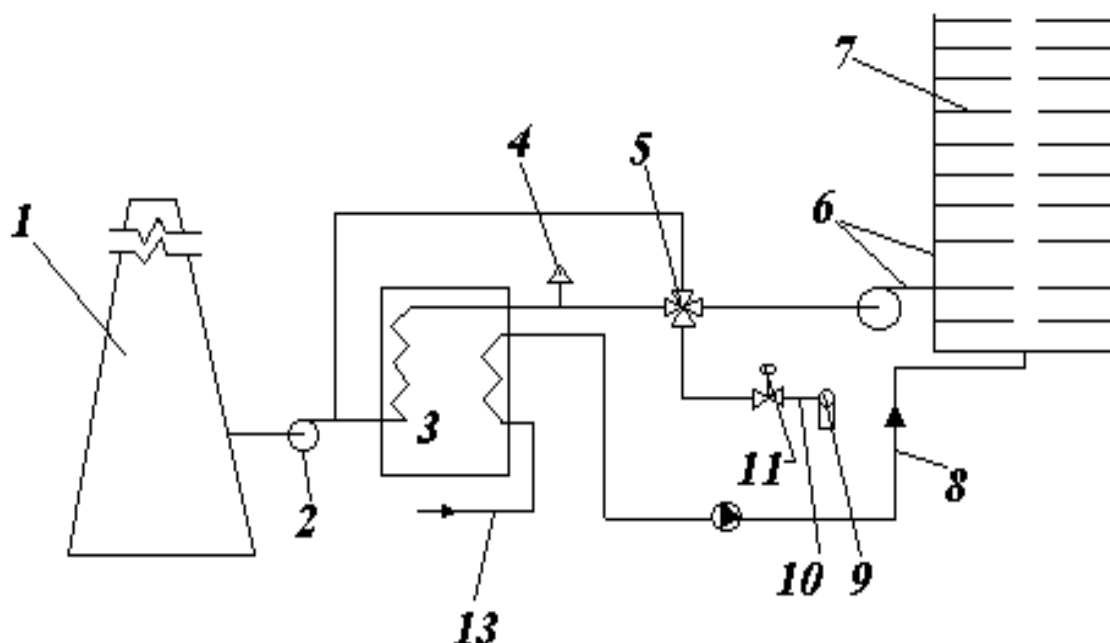


Рис.1.1 – Технологічна схема використання відхідних газів котельних:

- 1 – димова труба; 2 – вентилятор; 3 – теплообмінник; 4 – скидний клапан; 5 – перемикаючий пристрій; 6 – магістральний трубопровід;  
7 – перфорований роздавальний рукав; 8 – трубопровід системи обігріву теплиць; 9 – ізотермічна ємність; 10 – патрубок; 11 – електромагнітний клапан;  
12 – насос; 13 – водопровід.

Початковий стан цього процесу – охолодження димових газів у водяному скрубєрі або економайзері. Нагріту при цьому воду можна використовувати як для поливу, так і для обігріву теплиць. Ця система вуглекислотного підживлення, як показав досвід експлуатації, надійна в роботі і проста для обслуговування.

#### **1.4.4 Приготування і подача живильного розчину у теплицях**

Живильний розчин готується у вузлі його приготування. Функціональна схема вузла приготування живильного розчину „АГРОТЕРМ” (Нідерланди), керованого ЕОМ, показана на рис.1.2.

Вузол приготування живильного розчину складається з чотирьох баків для концентрованих розчинів мінеральних добрив А і Б, мінеральні добрива в яких для запобігання випадання їх в осад розподілені за певною схемою; бака для кислоти; змішувальної камери та насоса подачі води і живильного розчину в теплиці. Концентровані розчини мінеральних добрив А і Б готують окремо в апаратах з мішалками і подають у вузол приготування живильного розчину.

В змішувальну камеру поступає тепла вода, кислота та концентровані розчини мінеральних добрив А і Б. В схемі передбачений інжекційний принцип приготування живильного розчину. При роботі насоса подача води і розчинів мінеральних добрив у інжекторних трубках Вентурі створюється вакуум, внаслідок чого компоненти живильного розчину (кислота, розчини мінеральних добрив А і Б) подаються до змішувальної камери у певній пропорції до подачі насоса.

Подачею води, кислоти та концентрованих розчинів мінеральних добрив керують електромагнітні вентиля.

Кислотність живильного розчину контролює рН-метр, а концентрацію – кондуктометр. При зниженні рН розчину нижче заданого значення вимикається вентиль подачі кислоти, а при підвищенні концентрації розчину вище заданого значення кондуктометр вимикає вентиля подачі концентрованих розчинів мінеральних добрив.

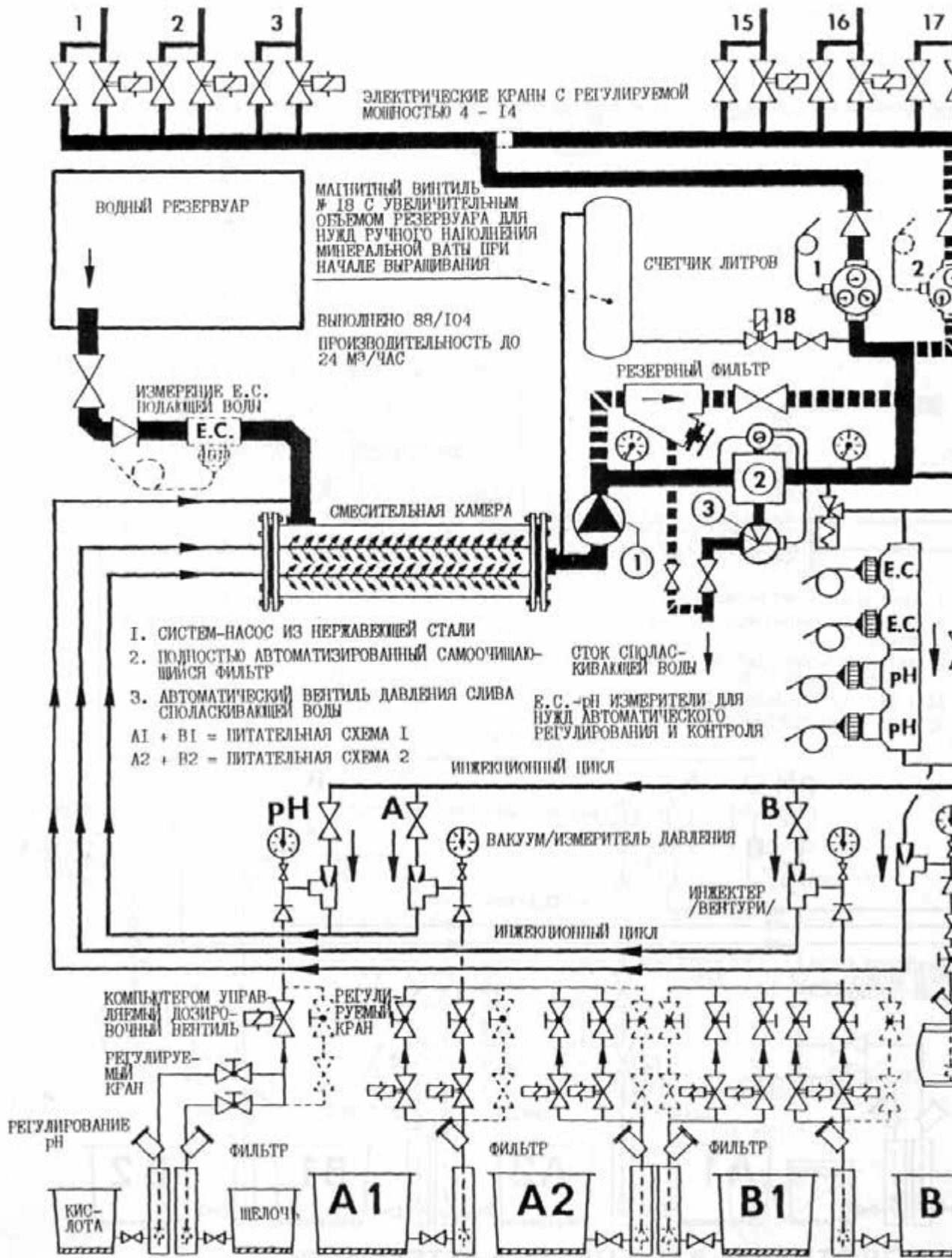


Рис.1.2 – Схема узла приготовления живильного розчину „АГРОТЕРМ”

Живильний розчин подається насосом через фільтр в теплицю. Проток в системі контролює електроконтактний манометр, який дає команду на вимикання насоса при відсутності потоку в системі.

В розчинному вузлі конструкції ВІЕСГ для дозування кислоти і концентрованих розчинів мінеральних добрив застосовані насоси-дозатори (рис.1.3).

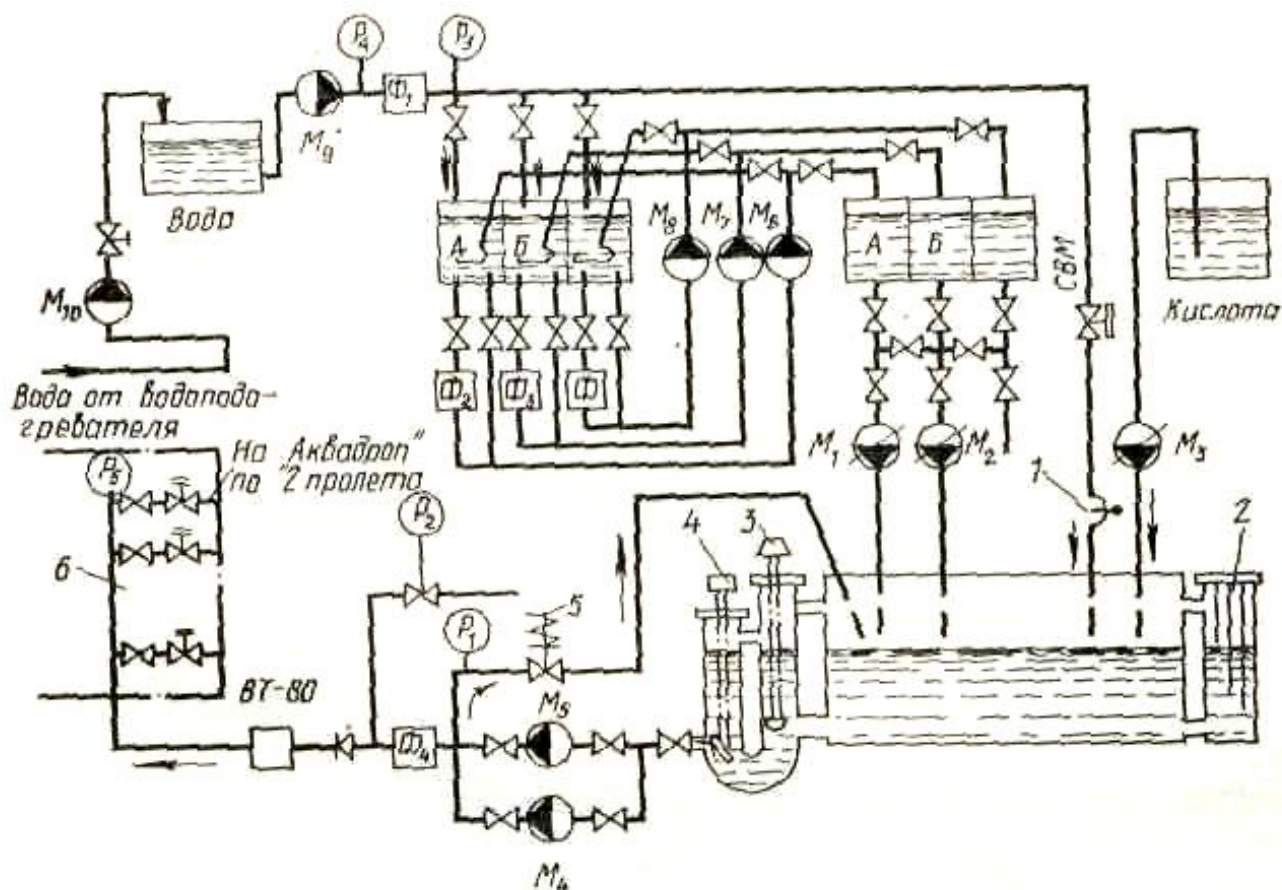


Рис. 1.3 – Розчинний вузол конструкції ВІЕСГ на Уманському тепличному комбінаті

Воду з температурою 22 – 25 °С насосом M10 закачують у місткість об'ємом 3 м<sup>3</sup>. За сигналами датчика рівня в ній підтримують постійний запас води. Воду насосом M9 через фільтр Ф1 і вентиль СВМ подають в змішувальний бак ємністю 1 м<sup>3</sup>. Після наповнення баків вмикають насоси M6 і M7 для змішування добрив. Коли добрива розчиняться у воді, розчин насосами через систему вентилів перекачуються у баки для зберігання розчинів.

Після цього в змішувальний бак через вентиль СВМ подають воду і коли вона досягне датчика нижнього рівня – вмикаються насоси-дозатори M1 – M3

розчинів мінеральних добрив і кислоти. Роботою насосів-дозаторів концентрованих розчинів мінеральних добрив керує кондуктометр, насоса-дозатора кислоти – рН-метр. При досягненні датчика верхнього рівня вмикається насос подачі розчину в теплицю М4 (насос М5 – резервний). Реле потоку контролює наявність потоку в системі. Для стабілізації тиску в магістральній трубі після насоса встановлений пневмоклапан, який забезпечує пропускання розчину назад у бак.

Подача живильного розчину у теплицю здійснюється по секціям, які вмикаються за допомогою електромагнітних вентилів. В кожному блоці теплиць змонтовано 6 вентилів. Роботою електромагнітних вентилів керує автомат поливу рослин.

Вода та живильний розчин подають за заданою програмою за допомогою стаціонарної системи, яка містить: магістральний трубопровід (діаметром 75мм), відгалуження (діаметром 63мм) від магістралі із запірними електромагнітними вентилями, спуском і розподільними колекторами (діаметром 40мм), зрошувачі – поливні труби «аквадроп» з водовипусками через 28см, які прокладені вздовж смуг з рослинами. Одним клапаном вмикається 16 зрошувачів.

Витрата води через водовипуск складає 1,2 – 1,9 л/год, на ввіді в теплицю – 8064 л/год при напорі води на ввіді в зрошувач і теплицю відповідно 0,5 – 0,7 і 2 атмосфери.

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 рН. Питому електропровідність і рН живильного розчину у ваті визначають один-два рази на тиждень портативними приладами. Повний хімічний аналіз проводять один-два рази на місяць.

#### **1.4.5 Електропостачання теплиць**

Електропостачання блока теплиць здійснюється зі щита станцій керування, який знаходиться в приміщенні щитової. Живлення щита станцій керування здійснюється від трансформаторної підстанції чотирма окремими фідерами.

Всі електроспоживачі отримують живлення від щита станцій керування кабелем АНРГ. Групова мережа виконується кабелем в щитовій – в каналі; у тепlopункті – у лотках і трубах; в з'єднувальному коридорі і теплицях – у лотках.

Мережа електроосвітлення отримує живлення від щитків, які встановлюються в коридорі (теплиці, коридор) і щитовій (допоміжні приміщення).

Розподіл електроенергії по групам опромінювачів розсади здійснюється за допомогою розподільчих пристроїв системи керування електродосвічуванням РУ-1, керування якими здійснюється із пульта, встановленого у щитовій. Розподільчі електричні мережі електродосвічування виконують кабелем АНРГ, групові – кабелем КРПТ, кола керування – кабелем АКРНГ.

### **1.5 Завдання досліджень**

Інтенсифікація овочівництва закритого ґрунту пов'язана з переходом до енерго- та ресурсозберігаючих технологій вирощування рослин, в тому числі широкому застосуванні електротехнологій.

Проведений літературний огляд технологій вирощування рослин в спорудах захищеного ґрунту показав, що застосування електротехнологій, пов'язаних із активацією поливної води, автоматичним контролем і регулюванням іонного обміну рослин, сприяє збільшенню урожайності, покращенню якості овочів, зменшенню витрат мінеральних добрив та енергії. В даний час не встановлений механізм дії магнітного поля на зміну параметрів води і розчинів добрив, відсутні рекомендації щодо оптимальних режимів їх обробки, не обґрунтовані конструктивні параметри відповідного обладнання, що вимагає проведення відповідних теоретичних і експериментальних досліджень.

На основі аналізу стану питання і у відповідності з метою визначені такі завдання досліджень:

- обґрунтувати способи та технічні засоби контролю параметрів води і розчинів мінеральних добрив і індикації ефекту магнітної обробки розчину;
- дослідити вплив магнітного поля на зміну фізико-хімічних властивостей води і розчинів мінеральних добрив;

- дослідити вплив магнітної обробки води і розчинів мінеральних добрив на ріст і розвиток рослин;
- обґрунтувати режими та параметри установки для магнітної обробки води і розчинів мінеральних добрив;
- розробити дослідні зразки обладнання для магнітної обробки води і розчинів мінеральних добрив та провести їх дослідження.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Програма досліджень

1. Провести аналіз основних тенденцій розвитку технологій вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту із застосуванням електротехнологій і визначити завдання досліджень.
2. Розробити методику оцінки впливу електромагнітної обробки води і розчинів добрив.
3. Обґрунтувати параметри і розробити лабораторну установку для магнітної обробки водних розчинів.
4. Провести теоретичні дослідження зміни параметрів води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці.
5. Провести експериментальні дослідження зміни параметрів води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці. Визначити оптимальні параметри обробки.
6. Обґрунтувати параметри установок для магнітної обробки розчинів, розробити методику їх розрахунків.
7. Розробити і дослідити пристрої для магнітної обробки поливної води і розчинів мінеральних добрив.

#### 2.2 Методика досліджень

Патентно-ліцензійні дослідження і літературний огляд з питань перспективних технологій вирощування рослин в спорудах закритого ґрунту та електротехнологій проводилися за матеріалами Інституту науково-технічної та економічної інформації, реферативними журналами, а також за іншими джерелами інформації.

На основі аналізу літературних джерел із урахуванням досвіду передових господарств визначалися перспективні технології вирощування рослин та

можливості застосування електротехнологій для підвищення техніко-економічних показників вирощування овочів у спорудах закритого ґрунту.

2. При розробці методу оцінки електромагнітної обробки поливної води та розчинів мінеральних добрив враховували необхідність застосування первинного перетворювача з електричним вихідним сигналом, який забезпечує безперервні вимірювання зміни параметрів водного розчину при магнітній обробці. Проба при вимірюванні не повинна підлягати впливу електричних і магнітних полів, які можуть спричинити зміну властивостей самих розчинів. Зміна параметрів розчину повинна перевищувати невизначеності вимірювань відповідної величини.

3. Лабораторна установка для магнітної обробки живильного розчину повинна передбачати можливість зміни магнітної індукції, швидкості руху розчину і числа перемагнічувань. Межі зміни вказаних параметрів встановлювалися на основі вивчення літературних джерел, присвячених магнітній обробці води, розчинів солей і добрив.

Магнітна індукція повинна регулюватися за рахунок зміни підведеної напруги до котушок індуктора. Число реверсів змінюється шляхом під'єднання до джерела напруги різної кількості котушок індукторів. Діаметр трубопроводу апарата для магнітної обробки повинен відповідати трубопроводу, який з'єднує магістральний трубопровід з трубами "аквадроп".

4. На основі вивчення літературних джерел встановлено, що при магнітній обробці водних систем змінюється кінетика хімічних реакцій. Використовуючи рівняння Вант-Гоффа-Арреніуса, теорію зіткнення та перехідного стану і розглядаючи рух іонів в магнітному полі, встановлювалася аналітична залежність рН та окислювально-відновного потенціалу розчину від характеристик магнітного поля та складу розчину. При цьому визначалися фактори, від яких залежить ефект магнітної обробки.

5. Експериментальні дослідження зміни параметрів води та розчинів мінеральних добрив проводилися на лабораторній установці. Воду і розчини пропускали через магнітне поле, що створювалося індукторами. Досліди проводили з розчинами, концентрація солей в яких складала 0,5 і 1,0 г/л.

Магнітну індукцію змінювали в межах 0 – 0,2 Тл. Температуру та швидкість руху води і розчинів підтримували у відповідності із їхніми значеннями при вирощуванні рослин у теплицях (відповідно 20 °С та 1 м/с).

Окислювально-відновний потенціал та рН розчину визначали до апарата магнітної обробки та після нього за допомогою іономіра И-160М. За різницею вимірювань робили висновок про ефект магнітної обробки.

Досліди виконували в трикратній повторності. Дисперсію визначали за формулою

$$S_u^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2}{m-1}, \quad (2.1)$$

де  $y_{uj}$  – вимірне значення величини в досліді з номером  $j$  ;  
 $\bar{y}_u$  – її середнє значення;  
 $m$  – число паралельних спостережень.

Однорідність дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}, \quad (2.2)$$

де  $S_{u \max}^2$  – максимальна дисперсія;

$\sum_{u=1}^N S_u^2$  – сума всіх дисперсій.

При  $G < G_{кр}$ , де  $G_{кр}$  – табличне значення критерію Кохрена при 5%-ному рівні значущості, приймалася гіпотеза одночасності дисперсій.

Залежності рН та ОВП від характеристик магнітного поля визначалися аналітичним шляхом, а коефіцієнти в отриманих залежностях визначали за експериментальними даними методом найменших квадратів.

Адекватність отриманих математичних моделей перевіряли за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2}, \quad (2.3)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності;

$S^2$  – середня дисперсія дослідів.

Дисперсія адекватності визначається за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} * \sum (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2, \quad (2.4)$$

де  $\hat{y}_u$  – розрахункове значення вихідної величини за отриманим рівнянням;

$N$  – число дослідних точок;

$l$  – число значущих коефіцієнтів.

Середня дисперсія дослідів визначається за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N}. \quad (2.5)$$

При  $F < F_{кр}$ , де  $F_{кр}$  – табличне значення критерію Фішера при 5%-ному рівні значущості, приймалася гіпотеза адекватності математичної моделі.

Оптимальні значення магнітної індукції визначалися як розв'язок рівняння:

$$\frac{d \hat{y}}{dB} = 0, \quad (2.6)$$

де  $B$  – магнітна індукція.

При дослідженні зміни ефекту магнітної обробки в часі вимірювали рН води, обробленої в магнітному полі протягом трьох годин. Отриману залежність апроксимували експоненціальною функцією, а коефіцієнти визначали методом найменших квадратів.

6. На основі проведених досліджень по зміні параметрів води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці обґрунтовані параметри відповідних пристроїв і розроблена методика їх розрахунку.

Розрахунок пристроїв для магнітної обробки води і розчинів добрив ґрунтувався на теорії магнітних кіл. Визначена площа поперечного перерізу магнітопровода, кількість витків і кількість шарів провода в індукторі та вибраний обмоточний провід.

7. При експериментальному дослідженні пристрою для магнітної обробки води і розчинів мінеральних добрив встановлена залежність магнітної індукції від струму в індукторі та її зміна вздовж осі труби.

При дослідженні залежності магнітної індукції від струму від випрямляча ПЗ-Н-02 подавали напругу живлення 0 – 36 В на індуктори. В центрі зазорів вимірювали магнітну індукцію тесламетром 43205. Струм контролювався приладом Ц4313. Апроксимація експериментальної залежності виконана методом найменших квадратів, а її адекватність визначена за критерієм Фішера.

При дослідженнях зміни магнітної індукції вздовж осі труби від випрямляча ПЗ-Н-02 подавали напругу, при якій струм через індуктор дорівнював 1А. Переміщуючи щуп тесламетра вздовж осі труби, вимірювали індукцію магнітного поля. Результати досліджень наводяться на графіку.

Розроблена екстремальна система автоматичного регулювання, аналіз і синтез якої здійснювався на основі теорії автоматичного регулювання.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ І РОЗЧИНІВ ДОБРИВ. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

На основі вивчення зміни фізико-хімічних властивостей води при магнітній обробці можна зробити висновок, що для індикації ефекту магнітної обробки можна застосувати оптичні, кристалохімічні, коагуляційні, електрохімічні, хімічні, магнітометричні, методи досліджень.

Проведені дослідження показали, що з цією метою найдоцільніше використовувати потенціометричні методи вимірювання. Первинні вимірювальні перетворювачі, що застосовуються при даних методах, мають електричний вихідний сигнал, який дає можливість вести безперервні вимірювання, а проба не підлягає впливу електричних або магнітних полів, які можуть викликати зміну властивостей розчину.

Для визначення можливості застосування промислового рН-метра-мільвольтметра для індикації ефекту магнітної обробки розчину були проведені дослідження невизначеності вимірювання рН і ОВП цим приладом.

Для рН-метра, який градується за двома робочими еталонами рН 2 розряду, рівняння моделі вимірювання має вигляд

$$pH_x = pH_s - \frac{(E_s - E_x)}{S_t}, \quad (3.1)$$

де  $pH_x$  - рН досліджуваного розчину;

$pH_s$  - рН робочого еталона 2 розряду;

$E_s$  - е.р.с. електродної пари в еталонному розчині;

$E_x$  - е.р.с. електродної пари в досліджуваному розчині;

$S_t$  - крутість водневої характеристики;

$$S_i = -(54,197 + 0,1984t), \quad (3.2)$$

де 54,197 мВ/рН – крутість водневої характеристики при  $t = 0$  °С;

0,1984 мВ/°С – температурний коефіцієнт потенціалу електрода.

Стандартні невизначеності вимірюваних величин визначають способами типу А або типу В залежно від характеру та об'єму апріорної інформації та наявності ресурсів для отримання експериментальних статистичних оцінок.

Оцінки вимірюваних величин при  $n$  незалежних вимірюваннях отримують у вигляді середнього арифметичного:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k, \quad (3.3)$$

де  $x_k$  – спостереження вимірюваної величини.

Стандартні невизначеності типу А представляють експериментальним стандартним відхиленням середнього значення [39]:

$$u(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}, \quad (3.4)$$

Стандартну невизначеність типу В отримують із даних попередніх вимірювань або внаслідок накопиченого досвіду чи загальних знань про поведінку і властивості відповідних матеріалів та приладів, специфікації виробника приладу чи еталонної речовини; даних свідочств про метрологічну атестацію, перевірку, калібрування; невизначеності, яка приписується довідковим даним.

Для прямокутного розподілу вимірюваної величини стандартну невизначеність за типом В визначають за формулою [39]:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}, \quad (3.5)$$

де  $a$  - границі максимально допустимих похибок вимірювального прилада.

Сумарна стандартна невизначеність для незалежних величин визначається за формулою:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{c_i^2 u(x_i)^2}, \quad (3.6)$$

де  $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$  - коефіцієнт чутливості.

Розширену невизначеність визначають за формулою:

$$U = k \cdot u_c(y), \quad (3.7)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення, який на практиці приймають  $k=2$  для рівня довіри 95 % [39].

Для рН-метра стандартна невизначеність згідно з рівнянням (3.1) розраховується за формулою:

$$u^2(pH) = u^2(pH_s) + \frac{u^2(E)}{S_t^2} + \left[ \frac{(E_s - E_x)}{S^2} \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \right]^2 u^2(t), \quad (3.8)$$

В рівнянні (3.8) перший член характеризує невизначеність робочого еталона рН, другий - невизначеність вимірювань е.р.с. електродної системи, третій – невизначеність, пов'язану із змінами температури або різницею в температурі градуовального і контрольного розчинів.

Якщо скористатися координатами ізопотенціальної точки вимірювального електрода, то залежність (3.1) можна представити у вигляді

$$pH_x = pH_i + \frac{(E_x - E_i)}{S_t}, \quad (3.9)$$

де  $pH_i, E_i$  - координати ізопотенціальної точки електрода.

Тоді третій член рівняння (3.8) із урахуванням (3.2) і (3.9) можна записати у вигляді

$$\left[ \frac{(E_x - E_i)}{S^2} \cdot 0,1984 \right]^2 u^2(t) = \left[ \frac{(pH_x - pH_i)}{S^2} \cdot 0,1984 \right]^2 u^2(t). \quad (3.10)$$

При  $t = 25$  °С крутість водневої характеристики  $S=59,16$  мВ/рН;  $(pH_x - pH_i) = 3$ , а коефіцієнт чутливості  $c_t$  складає  $0,01$  рН/°С.

Тоді

$$u^2(pH) = u^2(pH_s) + u^2(pH) + 0,01 \cdot u^2(t). \quad (3.11)$$

Розглянемо розрахунок невизначеності при вимірюванні рН мангнітоактивованої води промисловим рН-метром. Його градування

здійснювали за робочими еталонами 2 розряду з номінальним значенням рН 4,01 і 9,18 при 25 °С. Бюджет невизначеності рН представлений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Бюджет невизначеності вимірювань рН промисловим рН-метром

Вхідна величина $x_i$	Значення оцінки	+/-	Тип невизначеності	Розподіл імовірності	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Коефіцієнт чутливості $c_i$	Вклад невизначеності $u(y_i)$	Процентний вклад
Вимірне значення рН розчину	7,28		A	нормальний	$2,0 \cdot 10^{-2}$	1,0	$2,0 \cdot 10^{-2}$	64
рН робочого еталона 2 розряду		0,01	B	прямокутний	$5,8 \cdot 10^{-3}$	1,0	$5,8 \cdot 10^{-3}$	18
Відхилення температури розчину, °С	0	1,0	B	прямокутний	$5,8 \cdot 10^{-1}$	- 0,01	$- 5,8 \cdot 10^{-3}$	18
Визначене значення рН розчину	7,28				$2,2 \cdot 10^{-2}$			

Розширена невизначеність  $U=4,3 \cdot 10^{-2}$  при  $k=2$ .

Результат: Оцінене дійсне значення рН розчину складає  $7,28 \pm 0,043$ .

Стандартну невизначеність вимірювань ОВП визначали за типом А. Вона склала 1 мВ. При цьому розширена невизначеність становить 2 мВ при  $k=2$ .

При магнітній обробці зміна рН та окислювально-відновного потенціалу (ОВП) набагато перевищує невизначеність їх вимірювання. Зміна рН складає 0,1 – 0,3 одиниці, а ОВП – 8 – 10 мВ. При цьому перевагу мають рН-метри, так як рН – інтегральна величина, що характеризує розчин в цілому, а електроди для вимірювання ОВП мають значний дрейф потенціалу і час його встановлення, який може досягти 15 – 20 хв.

Проведений аналіз літературних джерел, присвячених магнітній обробці води та розчинів солей і кислот, показав, що ефект магнітної обробки залежить від характеристик магнітного поля, числа перемішувань та швидкості руху розчину. Значення магнітної індукції для застосовуваних апаратів лежить в межах

0,04 – 0,2 Тл при швидкості руху потоку 0,5 – 2,5 м/с та числі перемагнічувань від 3 до 8. Швидкість руху води і розчину в теплицях коливається в межах 0,5 – 1 м/с.

На основі цих даних була створена лабораторна установка для магнітної обробки водних розчинів. Вона складається із бака з розчином, трубопроводу та апарата для магнітної обробки розчину. Схема апарата для магнітної обробки води і розчинів мінеральних добрив показана на рис. 3.1. Він складається із п'яти індукторів, на магнітопроводі яких знаходиться намагнічуюча котушка. В повітряному зазорі між полюсними наконечниками розміщена пластмасова труба. Індуктор створює магнітне поле, яке перетинає своїми силовими лініями потік води чи розчину.

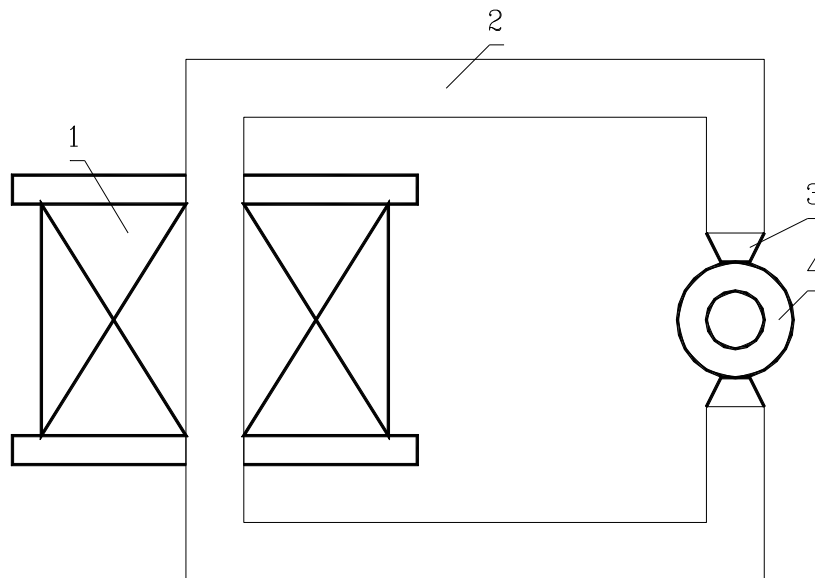


Рис. 3.1 – Схема апарата для магнітної обробки водних розчинів:

- 1 – котушка індуктора; 2 – магнітопровід; 3 – полюсний наконечник;  
4 – труба з розчином

Величина магнітної індукції регулюється шляхом зміни підведеної напруги до котушок індуктора в межах 0 – 36 В. При цьому магнітна індукція змінюється від 0 до 200 мТл. Число перемагнічувань змінюється шляхом перемикання індукторів, а градієнт магнітного поля – шляхом зміни відстані між ними при

переміщенні вздовж осі труби. Швидкість руху розчину змінюється за рахунок зміни його подачі.

Для індикації ефекту магнітної обробки водного розчину використовується рН-метр-мілівольтметр або іономір. Величина рН та ОВП розчину вимірюють до апарата магнітної обробки та після нього, за різницею яких роблять висновок про ефективність його обробки.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ВОДИ ТА РОЗЧИНІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ПРИ МАГНІТНІЙ ОБРОБЦІ

Експериментально встановлено, що магнітна обробка водних розчинів впливає на кінетику хімічних реакцій.

Для хімічної реакції зміна концентрації продуктів реакції:

$$dC_i = \omega dt, \quad (4.1)$$

де  $C_i$  – концентрація речовини;

$\omega$  – швидкість хімічної реакції;

$t$  – час.

Швидкість хімічної реакції:

$$\omega = k \prod_{i=1}^a C_i^{|\nu_i|}, \quad (4.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт швидкості;

$\nu_i$  – стехіометричні коефіцієнти реакції.

При магнітній обробці розчинів в електромагнітному полі концентрації реагентів змінюються мало, тому зміна концентрації продуктів реакції прямо пропорційна коефіцієнту швидкості.

Згідно з рівнянням Вант-Гоффа-Арреніуса

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right), \quad (4.3)$$

де  $k_0$  – передекспоненціальний множник;

$E_a$  – енергія активації;

$R$  – універсальна газова стала;

$T$  – температура.

Або

$$\lg k = \lg k_o - \frac{E_a}{RT} . \quad (4.4)$$

Згідно з теорією зіткнення  $k_o$  характеризує вигідну для реакції просторову орієнтацію взаємодії активних молекул і визначається як [31]:

$$k_o = Z e^{\frac{S_a}{R}} , \quad (4.5)$$

де  $z$  - коефіцієнт пропорційності;

$S_a$  - ентропія активації.

Згідно з теорією перехідного стану [31]

$$k_o = \frac{kT}{h} e^{\frac{\Delta S_o}{R}} , \quad (4.6)$$

де  $\Delta S_o$  – стандартна ентропія активації,

$k$  – стала Больцмана;

$h$  – стала Планка.

Величина рН розчину:

$$pH = -\lg a_{H^+} = -\lg fC_{H^+} , \quad (4.7)$$

де  $a_{H^+}$  – активність іонів водню;

$f$  – коефіцієнт активності.

Так як зміна концентрації іонів водню  $C_{H^+}$ , які утворюються при магнітній обробці розчину, пропорційна коефіцієнту швидкості реакції, то величина рН пропорційна десятковому логарифму коефіцієнта швидкості:

$$\Delta pH = A_o \lg k , \quad (4.8)$$

де  $A_o$  – коефіцієнт.

Тоді при сталій температурі розчину згідно (4.3), (4.4), (4.5) зміна величини рН:

$$\Delta pH = A_o \Delta E , \quad (4.9)$$

де  $\Delta E$  – зміна енергії взаємодії.

Аналогічно для окислювально-відновних потенціалів:

$$\Delta E = A_2 \Delta E . \quad (4.10)$$

При обробці води і розчинів солей в магнітному полі на іони діє сила Лоренца:

$$F = qBv \cdot \sin \alpha \quad , \quad (4.11)$$

де  $q$  – заряд іона;

$B$  – магнітна індукція;

$v$  – швидкість руху іона;

$\alpha$  – кут між напрямом поля і рухом іона.

Сила Лоренца є відцентровою силою, яка змінює лише напрям руху іона, не змінюючи його кінетичну енергію та швидкість за модулем. Якщо вектор швидкості перпендикулярний вектору магнітної індукції, рух іона відбувається по колу радіуса:

$$r = \frac{mv}{qB} \quad , \quad (4.12)$$

де  $m$  - маса іона,

звідки

$$v = \frac{qBr}{m} \quad . \quad (4.13)$$

Гідратація іонів впливає на їх поведінку в розчині, на швидкість пересування, на умови зближення і адсорбції на границях розподілу фаз. При перетині іонами магнітного поля їхня гідратна оболонка деформується, що полегшує взаємозчеплення іонів [33].

Дослідні дані з визначення констант швидкості реакції  $k_0$  показують, що хімічні наслідки зіткнень залежать не стільки від кінетичної енергії відносного руху, скільки від кінетичної енергії відносного руху вздовж лінії центрів, тобто вона визначається нормальною складовою швидкості  $v_n$  , а тангенціальна не істотна при активації [32]:

$$E = \frac{\mu v_n^2}{2} \quad , \quad (4.14)$$

де  $\mu$  - зведена маса часток.

При магнітній обробці розчинів внаслідок дії сили Лоренца змінюється саме нормальна складова швидкості:

$$v_{n2} = v_{n1} + \Delta v_n, \quad (4.15)$$

де  $v_{n2}$  – нормальна складова швидкості при дії магнітного поля,

$v_{n1}$  – швидкість руху іонів в розчині;

$\Delta v_n$  – її приріст.

Як впливає із (4.13), приріст нормальної складової швидкості:

$$\Delta v_n = A_3 B. \quad (4.16)$$

Коефіцієнт  $A_3$  залежить від виду іонів, як знаходяться в розчині, та від кількості перемагнічувань, так як реверс змінює орієнтацію іонів.

Зміна кінетичної енергії відносного руху вздовж лінії центрів становить:

$$\Delta E = \frac{\mu v_{n2}^2}{2} - \frac{\mu v_n^2}{2}, \quad (4.17)$$

або

$$\Delta E = \frac{\mu}{2} (\Delta v_n^2 + 2 v_{n1} \Delta v_n). \quad (4.18)$$

З урахуванням (4.16):

$$\Delta E = \frac{\mu}{2} (A_3^2 B^2 + 2 A_3 v_{n1} B). \quad (4.19)$$

Отже, зміна величини рН при незмінній швидкості руху розчину:

$$\Delta pH = a_1 B^2 + a_2 B, \quad (4.20)$$

де  $a_1, a_2$  – коефіцієнти.

Аналогічно зміна ОВП розчину при незмінній швидкості його руху:

$$\Delta E = a_1' B^2 + a_2' B, \quad (4.21)$$

Значення коефіцієнтів залежать від того, які іони знаходяться в розчині (які їх маса, заряд, швидкість), а також від кількості перемагнічувань та градієнта магнітного поля. Їхні значення можна визначити лише дослідним шляхом при заданих режимах магнітної обробки розчину.

Експериментальні дослідження зміни параметрів води та розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці проводили на лабораторній установці. Температура води і розчинів мінеральних добрив підтримувалися постійною +20

°C, а швидкість руху через апарат магнітної обробки складала 1 м/с, що відповідає їхнім значенням при вирощуванні рослин в теплицях. Концентрація мінеральних добрив в розчинах складала 0,5 г/л і 1 г/л. Магнітну індукцію вимірювали тесламетром, а рН та ОВП розчинів – іономіром И-160М. За різницею показів приладу при вимірюванні цих величин до апарата магнітної обробки і після нього оцінювали ефект магнітної обробки.

Досліди виконували в трикратній повторності, а про їх відтворюваність судили за критерієм Кохрена. Так як розрахунковий критерій (див. додаток А) менший критичного значення, яке складає 0,6898, то досліди відтворювані з 95%-ною імовірністю.

Зміна рН води при її магнітній обробці із числом перемагнічувань 1; 3 і 5 показана на рис 4.1, а ОВП – на рис 4.2. При збільшенні магнітної індукції до її оптимального значення рН води зростає, а ОВП зменшується. Подальше збільшення магнітної індукції призводить до зменшення рН і росту ОВП. Оптимальне значення магнітної індукції залежить від вододжерела і для Київської області складає 100 – 110 мТл.

Зміна рН живильного розчину Зонневельда [13] показана на рис.4.3, а його ОВП – на рис. 4.4. Характер даних залежностей та оптимальні значення магнітної індукції подібні залежностям, отриманих для поливної води.

Зміна рН деяких розчинів солей і мінеральних добрив при магнітній обробці показана на рис. 4.5 та рис. 4.6. Характер наведених залежностей не відрізняється від залежностей, отриманих при магнітній обробці води. При цьому ефект магнітної обробки, як правило, посилюється. Оптимальне значення магнітної індукції для даних розчинів неістотно відрізняються від її значення для води, з якої вони приготовлені. Зміна рН досягає 0,1 – 0,3 одиниці і істотніша при магнітній обробці розчинів, які мають вищий рН. Ефект магнітної обробки залежать від хімічного складу розчину, тобто концентрації і композиції іонів. В розчинах, які містять іони - стабілізатори структури води ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), він помітніший, ніж розчинах з іонами, які “розпушують” біля себе структуру води ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

Збільшення числа перемагнічувань підсилює ефект магнітної обробки. Оптимальним можна вважати трикратне перемагнічування, так як його подальше зростання не істотно підсилює ефект магнітної обробки, але при цьому зростають габарити застосовуваної установки.

Зменшення градієнта магнітного поля, тобто збільшення відстані між індукторами, послаблює ефект магнітної обробки. Це необхідно враховувати при проектуванні магнітних апаратів.

Проведені експериментальні дослідження зміни рН та ОВП води, розчинів солей і мінеральних добрив довели правильність отриманих теоретичних залежностей (4.20), (4.21) і дали можливість визначити коефіцієнти методом найменших квадратів [35], значення яких наведені відповідно в таблицях 4.1 та 4.2. Так як розрахункове значення критерію Фішера (див. додаток А) менше критичного, яке складає 3,71, то отримані математичні моделі адекватні з 95%-ною імовірністю.

Оптимальне значення магнітної індукції отримане як розв'язок рівняння:

$$\frac{dpH}{dB} = 2a_1 + a_2 = 0, \quad (4.22)$$

звідки

$$B_{opt} = -\frac{a_2}{2a_1}. \quad (4.23)$$

Оптимальні значення магнітної індукції та максимальна зміна рН і ОВП води, розчинів солей і добрив при магнітній обробці наведені в табл. 4.1 та табл. 4.2.

Ефект магнітної обробки із плином часу зменшується за експоненціальним законом (рис. 4.7). Для досліджуваної води ця залежність має вигляд:

$$pH = 7.21e^{-0.0085t}, \quad (4.24)$$

де  $t$  – час, с.

Вплив магнітних полів на воду та на розчини мінеральних добрив не можна віднести до стійких, так як протягом року властивості води змінюються.

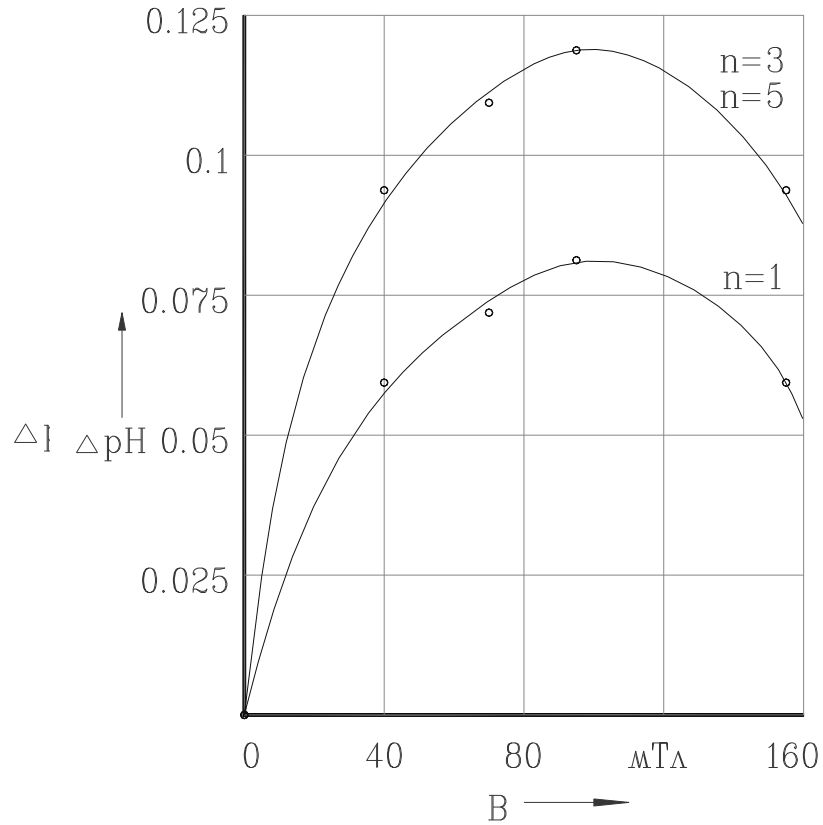


Рис.4.3. Зміна рН при магнітній обробці живильного розчину Зонневельда

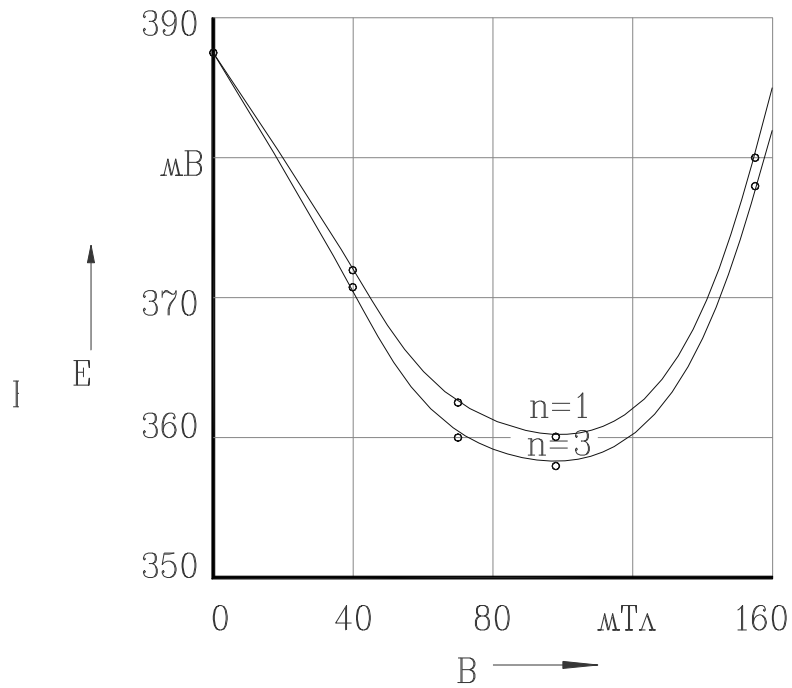


Рис.4.4. Зміна ОВП при магнітній обробці живильного розчину Зонневельда



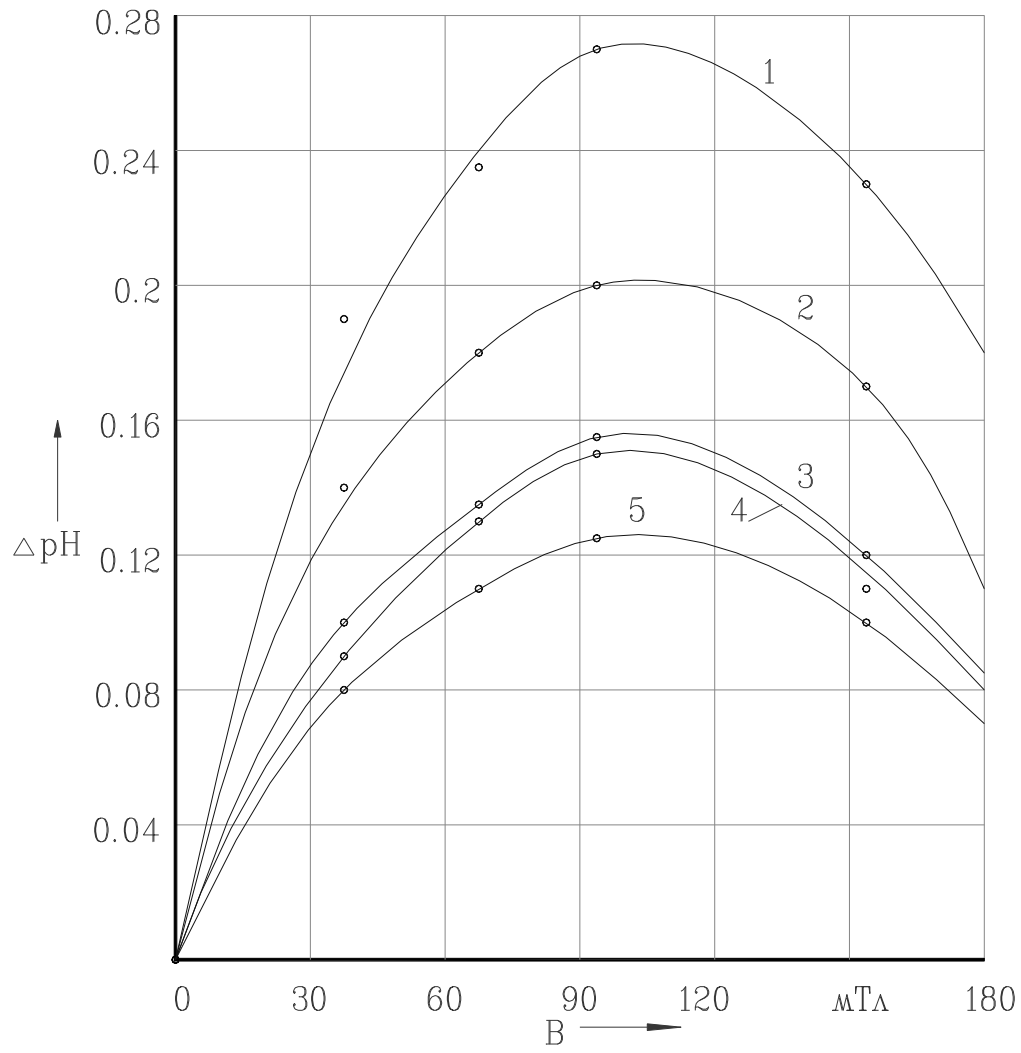


Рис.4.5. Зміна рН розчинів мінеральних добрив (1 г/л) при магнітній обробці з трикратним перемагнічуванням:

- 1 – кальцієва селітра;
- 2 – калій сірчаноокислий;
- 3 – аміачна селітра;
- 4 – магній сірчаноокислий семиводний;
- 5 – калійна селітра.

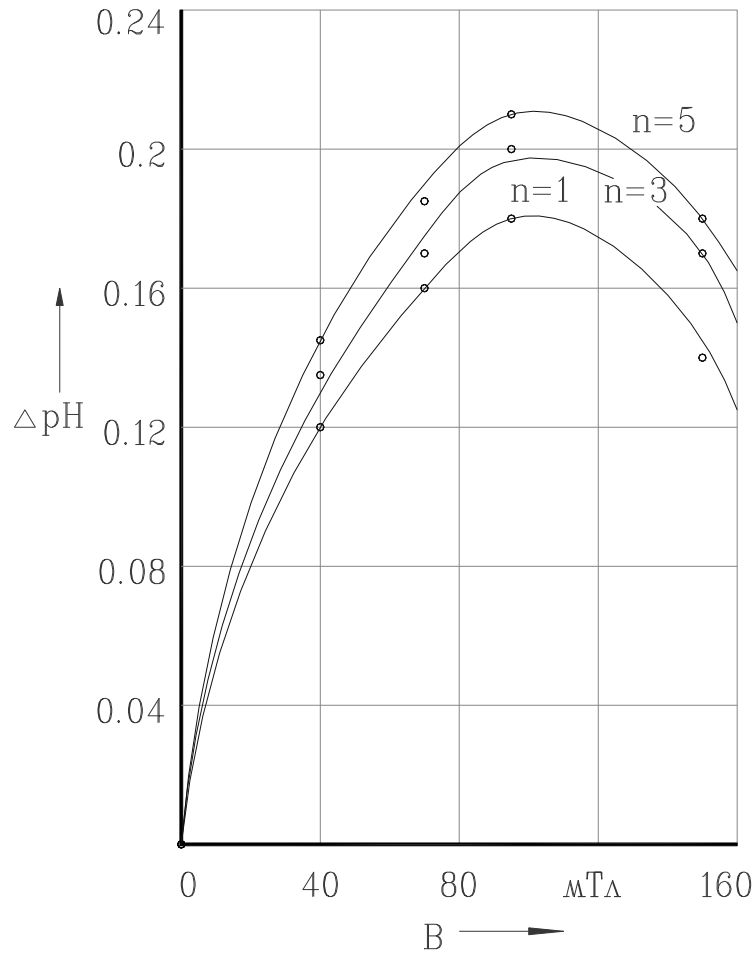


Рис.4.3. Зміна рН при магнітній обробці розчину сірчаноокислого калію концентрацією 1г/л

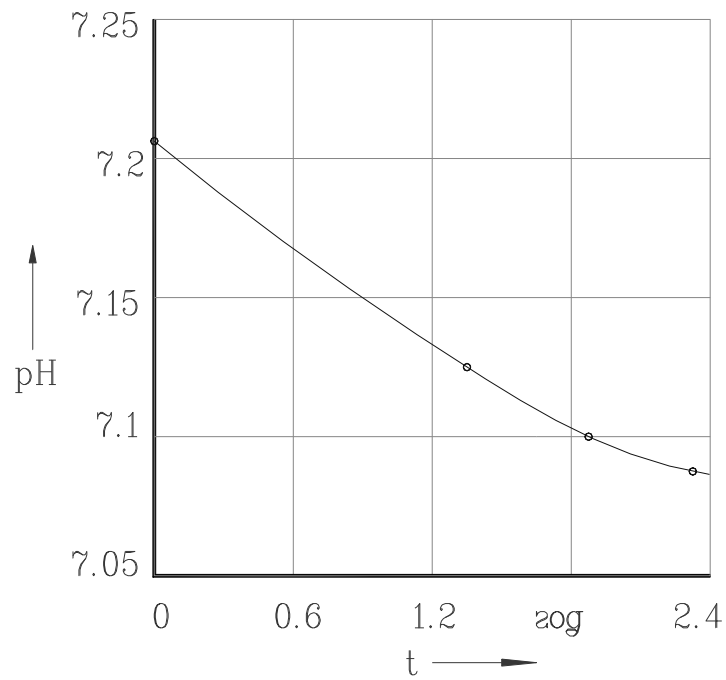


Рис.4.7. Зміна ефекту магнітної обробки в часі

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів  $a_1$ ,  $a_2$  та оптимальної магнітної індукції при магнітній обробці води і розчинів мінеральних добрив.

Розчин	Кількість перемагнічувань	Коефіцієнти		Оптимальна індукція, мТл	Максимальна зміна рН
		$a_1$ , од.рН/Тл	$a_2$ , од. рН/Тл		
1. Вода	1	-15	3,12	104	0,16
	3	-18,2	3,67		0,18
	5	-18,4	3,76		0,19
2. Розчин кальцієвої селітри	3	-24	5,09	106	0,27
3. Розчин сірчанокислового калію	3	-18,5	9,89	105	0,2
4. Розчин калійної селітри	3	-11,6	2,4	103	0,12
5. Розчин аміачної селітри	3	-13,9	2,9	104	0,15
6. Живильний розчин Зонневельда	3	-13,0	2,47	97	0,12

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнтів  $a'_1$ ,  $a'_2$  та оптимальної магнітної індукції при магнітній обробці води і розчинів мінеральних добрив

Розчин	Кількість перемагнічувань	Коефіцієнти		Оптимальна індукція, мТл	Максимальна зміна ОВП
		$a'_1$ , од.рН/Тл	$a'_2$ , од. рН/Тл		
Вода	1	781	-170	104	-9
	2	1028	-215		-11
	3	1197	-248,2		-13
Живильний розчин Зонневельда	3	4076	-697,7	86	-29,9

## РОЗДІЛ 5

### ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ РОЗЧИНІВ І МЕТОДИКА ЇЇ РОЗРАХУНКІВ

Проведені дослідження зміни параметрів води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці показали, що магнітна індукція повинна змінюватися в межах 0,04 – 0,2 Тл при трикратному перемагнічуванні і швидкості руху розчину 0,5 – 1,0 м/с.

Конструкція розробленого апарата для магнітної обробки води і живильних розчинів в теплицях з електромагнітами показана на рис.6.1. Він складається з трьох індукторів, на магнітопроводі яких знаходиться намагнічуюча котушка. В повітряному зазорі між полюсними наконечниками розміщена пластмасова труба, діаметр якої відповідає діаметру труби “аквадроп”. Для зменшення потоків розсіювання використовуються концентратори магнітного поля.

Індуктор створює магнітне поле, яке перетинає своїми силовими лініями потік води чи розчину. Силкові лінії магнітного поля направлені перпендикулярно потоку розчину. Величина магнітної індукції регулюється шляхом зміни підведеної до котушки індуктора напруги постійного струму в межах 0 – 36 В. При цьому магнітна індукція змінюється від 0 до 200 мТл. Котушки індукторів вмикаються зустрічно, забезпечуючи трикратне перемагнічування розчину.

Застосування апаратів з електромагнітами порівняно з постійними магнітами дає можливість отримати більші значення магнітної індукції та проводити її регулювання, завдяки чому змінюються режими обробки розчину, які визначаються концентрацією і композицією окремих іонів в ньому.

Розроблена методика розрахунку апаратів для магнітної обробки розчинів з електромагнітами.

Виходячи із заданої напруженості в робочій зоні, визначають магнітний потік

$$\Phi = B \cdot S, \quad (5.1)$$

де  $B$  – магнітна індукція в зазорі, Тл;

$S$  – площа перерізу магнітного потоку, м<sup>2</sup>.

Магнітний опір повітряного зазора визначається за формулою:

$$R_n = \frac{\delta}{\mu \cdot S}, \quad (5.2)$$

де  $\delta$  і  $S$  – відповідно довжина і площа зазору;

$\mu$  – магнітна проникливість повітря.

Магнітний опір феромагнітної ділянки магнітного кола

$$R_c = \frac{l}{\mu_c \cdot S}, \quad (5.3)$$

де  $l$  і  $S$  – відповідно довжина і площа перерізу магнітопровода;

$\mu_c$  – магнітна проникливість сталі при відповідній індукції.

Повний опір ділянки магнітного кола

$$R = R_n + R_c \quad (5.4)$$

Намагнічуюча сила котушки електромагніта

$$F = \Phi \cdot R \cdot K_3, \quad (5.5)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує невраховані магнітні потоки і потоки розсіювання;  $K_3 = 1,2$ .

Величину потоку розсіювання можна визначити лише експериментальним шляхом. Тому намагнічуючу силу визначають наближено. Необхідну магнітну індукцію в зазорі досягають шляхом використання концентраторів магнітного поля, які призначені для зменшення потоків розсіювання при різко вираженому поверхневому ефекті. Для цього роблять більш вузькими поперечні розміри.

Переріз обмотувального провода намагнічуючої котушки визначають за формулою:

$$S_n = \frac{F \cdot l_B \cdot \rho}{U}, \quad (5.6)$$

де  $l_B$  – середня довжина витка намотувального проводу;

$\rho$  – питомий електричний опір матеріалу проводу (мідь);

$U$  – номінальна напруга.

Число витків котушки

$$W = \frac{F}{j_{\text{доп}} \cdot S} = \frac{F}{I_{\text{доп}}}, \quad (5.7)$$

де  $j_{\text{доп}}, I_{\text{доп}}$  – відповідно допустимі густина і сила струму.

Число витків в ряду намагнічуючої котушки

$$W_p = \frac{b}{K_n \cdot d_n}, \quad (5.8)$$

де  $b$  – конструктивний розмір каркасу котушки,

$d_n$  – діаметр намотувального проводу з ізоляцією;

$K_n$  – коефіцієнт нерівномірності укладки ( $K_n = 1,1 \dots 1,2$  [34]).

Кількість шарів намотувального проводу

$$n = \frac{W}{K_n \cdot W_p}. \quad (5.9)$$

Опір котушки

$$R_k = \rho \cdot \frac{l_B \cdot W}{S_n}. \quad (5.10)$$

Розрахунковий струм

$$I = \frac{U}{R_k}, \quad (5.11)$$

а споживана потужність

$$P = n_k \cdot U \cdot I, \quad (5.12)$$

де  $n_k$  – кількість намагнічуючих котушок.

Проведений розрахунок електричних і магнітних параметрів установки для магнітної обробки поливної води і живильного розчину.

Магнітний потік

$$\Phi = 0,2 \cdot 0,18^2 = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Магнітний потік повітряного зазору

$$R_n = \frac{0,18}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,18 \cdot 0,4} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}.$$

Магнітний опір феромагнітної ділянки магнітного кола

$$R_c = \frac{0,48}{0,059 \cdot 0,18 \cdot 0,4} = 113 \text{ Гн}^{-1}.$$

Повний опір ділянки магнітного кола

$$R = 2,0 \cdot 10^6 + 113 \approx 2,0 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}.$$

Намагнічуюча сила котушки електромагніта

$$F = 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 1,2 = 1,55 \cdot 10^4 \text{ А.}$$

Переріз обмоточного провода

$$S_n = \frac{1,55 \cdot 10^4 \cdot 0,28 \cdot 17,2 \cdot 10^{-9}}{36} = 2,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Число витків котушки

$$W = \frac{1,55 \cdot 10^4}{8,2} = 1900.$$

Число витків в ряду намагнічуючої котушки

$$W_p = \frac{130}{1,1 \cdot 1,69} = 70.$$

Число шарів намотувального провода

$$n = \frac{1900}{1,1 \cdot 70} = 25.$$

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

За наведеною методикою був проведений розрахунок і виготовлений апарат для магнітної обробки водних розчинів та проведені його експериментальні дослідження.

Залежність магнітної індукції в повітряному зазорі від струму індуктора показана на рис. 6.1. Початкову ділянку даної кривої, яка відповідає робочій області магнітних індукцій, можна вважати прямолінійною:

$$B = 0.137 \cdot I + 0.07. \quad (6.1)$$

При подальшому збільшенні струму дана залежність стає нелінійною внаслідок насичення магнітної системи:

$$B = 0.138 \cdot I^{0.89}. \quad (6.2)$$

Зміна магнітної індукції вздовж осі труби апарата для магнітної обробки водних розчинів показана на рис. 6.2. Як випливає із наведеної залежності, магнітна індукція досягає найбільшого свого значення в місці установки полюсних наконечників. При русі вздовж осі трубки від одного індуктора до іншого індукція спадає, наближаючись до нуля посередині між індукторами, а потім, змінюючи знак, починає зростати.

Проведені дослідження показали, що для індикації ефекту магнітної обробки найбільш доцільно використовувати рН-метри. Застосування розробленого апарата для магнітної обробки водних розчинів з електромагнітами та промисловою рН-метра дає можливість створити систему автоматичного керування, яка забезпечує роботу апарата в оптимальному режимі для будь-яких типів розчинів або при зміні режимів їх магнітної обробки.

Система автоматичного керування містить апарат для магнітної обробки, тиристорний перетворювач напруги, рН-метр і екстремальний регулятор (рис.7.3).

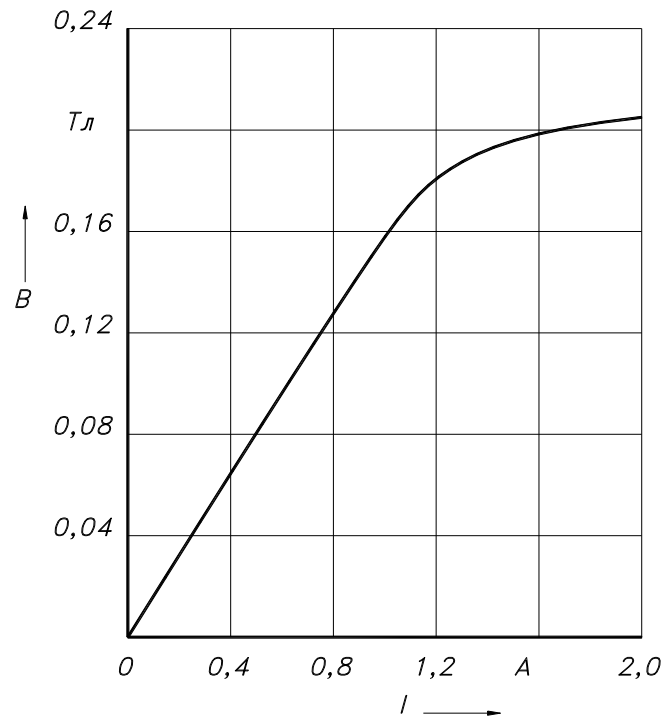


Рис. 6.1. Залежність магнітної індукції в повітряному зазорі від струму в індукторі

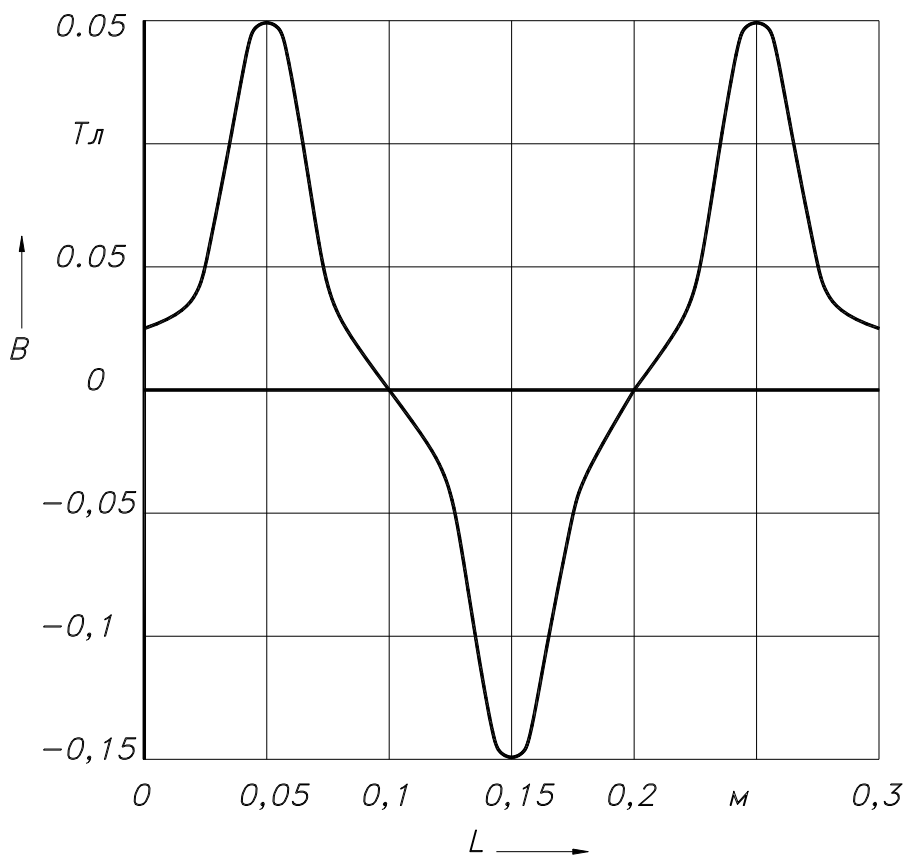


Рис. 6.2. Зміна магнітної індукції вздовж осі труби

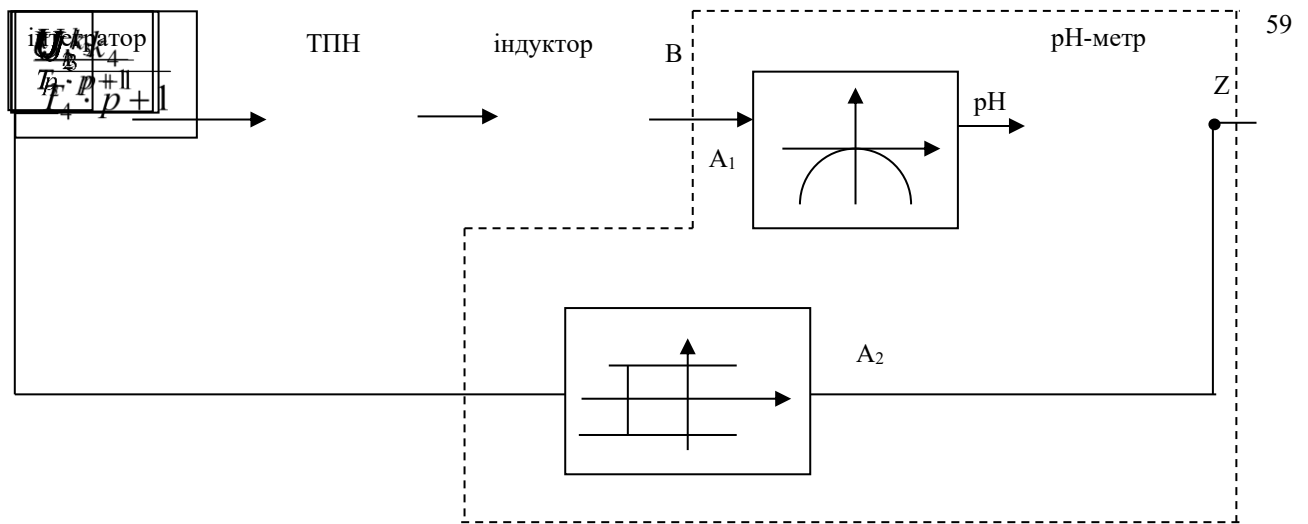


Рис. 6.3. Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування магнітною обробкою розчинів

Інформацію про режим магнітної обробки дає рН-метр, сигнал з якого поступає на екстремальний регулятор, який веде пошук оптимального режиму обробки. Регулятор видає сигнал на тиристорний перетворювач напруги, який забезпечує зміну магнітної індукції в зазорі індуктора внаслідок зміни підведеної напруги. Цим забезпечується підтримання оптимальної магнітної індукції при зміні режимів обробки.

Були визначені за відомою методикою передаточні функції окремих елементів системи автоматичного керування магнітною обробкою розчинів і розроблена структурно-алгоритмічна схема, яка показана на рис. 7.3.

Для індуктора коефіцієнт передачі  $K_3$  складає 6,4 мТл/В, а стала часу  $T_3=0,08$  с. Передаточна функція

$$W_3(p) = \frac{6,4}{0,08p + 1} \quad (6.3)$$

Для рН-метра коефіцієнт передачі  $K_4 = 40$  мВ/од.рН, стала часу  $T_4 = 1,82$  с, передаточна функція

$$W_4(p) = \frac{40}{1,82 + 1} \quad (6.4)$$

Для тиристорного перетворювача напруги коефіцієнт передачі  $K_2=3$ , стала часу  $T_2=0,01$ с, передаточна функція

$$W_2(p) = \frac{3}{0,01p+1}. \quad (6.5)$$

Для інтегратора  $K_1=1$ , а передаточна функція

$$W_1(p) = \frac{1}{p}. \quad (6.6)$$

Для визначення амплітуди і частоти автоколивань скористаємось методом гармонічної лінеаризації. Передаточну функцію лінійної частини запишемо у вигляді

$$W_n(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{p(T_2p+1)(T_3p+1)}. \quad (6.7)$$

Лінійну ланку  $W_4(p)$  та два нелінійні елементи  $J_1$  і  $J_2$  будемо вважати зведеною ланкою з передаточною функцією  $J_3$ .

Еквівалентна амплітудно-частотна характеристика зведеної ланки

$$q_3(A_1, \omega) = q_1(A_1)q_2\left(\frac{\Delta}{A_2}\right)W_n(j\omega), \quad (6.8)$$

де  $\Delta$  – зона нечутливості реле,  $\Delta=4\text{мВ}$ .

Амплітуда на вході другого нелінійного елемента

$$A_2 = A_1 q_1(A_1) \frac{K_4}{\sqrt{4T_3^2 \omega^2 + 1}}. \quad (6.9)$$

У виразі (7.9) прийнято, що частота коливань на вході об'єкта вдвічі менша, ніж на виході, що відповідає нормальному режиму роботи екстремального регулятора.

Для визначення коефіцієнтів гармонічної лінеаризації скористаємось формулами

$$a_1(A_1) = \frac{1}{\pi A_1} \int_0^{2\pi} F(x) \sin 2y dy, \quad (6.10)$$

$$b_1(A_1) = \frac{1}{\pi A_1} \int_0^{2\pi} F(x) \cos 2y dy. \quad (6.11)$$

Для першої нелінійності

$$F(x) = -k_o A_1^2 \sin y. \quad (6.12)$$

Тоді взявши інтеграл, отримаємо

$$a_1(A_1) = 0; \quad (6.13)$$

$$b_1(A_1) = \frac{k_o A_1}{2};$$

$$q_1(A_1) = \sqrt{a_1^2(A_1) + b_1^2(A_1)} = \frac{k_o A_1}{2};$$

$$\mu_1(A_1) = \frac{\pi}{2}.$$

Другий нелінійний елемент складається із послідовного з'єднання ідеального релейного елемента з зоною нечутливості та нелінійного логічного елемента. Формули для обчислення коефіцієнтів гармонічної лінеаризації мають вигляд [40]:

$$a_2(A_2) = \frac{4U \cos \alpha}{\pi A_2}; \quad (6.14)$$

$$b_2(A_2) = -\frac{4U \sin \alpha}{\pi A_2}. \quad (6.15)$$

Із виразів (7.14) і (7.15) отримаємо

$$q_2(A_2) = \frac{4U}{\pi A_2}; \quad (6.16)$$

$$\mu_2(A_2) = -\alpha. \quad (6.17)$$

Таким чином, загальний зсув, який вносить нелінійний елемент  $J_n$  і зведений до частоти, визначається за формулою

$$\mu_n(A_1 \omega) = \frac{\frac{\pi}{2} - \text{arctg} 2\omega T_4}{2} - \alpha, \quad (6.18)$$

$$\text{де } 2\alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{A_2 - \Delta}{A_2}. \quad (6.19)$$

Підставивши вираз (7.19) у формулу (7.18), отримаємо

$$\mu_n(A_1 \omega) = -\frac{\text{arctg} 2\omega T_3}{2} + \frac{1}{2} \arcsin \frac{A_2 - \Delta}{A_2}. \quad (6.20)$$

При цьому

$$q_n(A_1 \omega) = \frac{4U}{\pi A_1}. \quad (6.21)$$

Умову гармонічного балансу запишемо у вигляді

$$20 \lg H_1(\omega)H_2(\omega)H_3(\omega) = 20 \lg \frac{1}{q_n(A_1\omega)}; \quad (6.22)$$

$$\theta_1(\omega) + \theta_2(\omega) + \theta_3(\omega) = -\pi - \mu_n(A_1\omega). \quad (6.23)$$

За цими формулами побудовані логарифмічна амплітудна та фазова характеристики лінійної частини системи (рис. 7.4). На шаблоні побудовані характеристики  $20 \lg \frac{1}{q_n}$  та  $-\pi - \mu_n$  і суміщені осі шаблону  $\frac{1}{A_1}$  із віссю частот так, щоб точки А і В лежали на одній вертикалі. Таким, чином частота автоколивань  $11,9 \text{ с}^{-1}$ , а амплітуда  $0,09 \text{ мТл}$ .

Апарати для магнітної обробки встановлюють в розчинних вузлах (рис.1.2, рис.1.3) на трубопроводі подачі води для приготування концентрованих розчинів мінеральних добрив та на трубопроводі подачі живильного розчину у теплицю.

Розроблене обладнання пройшло перевірку в лабораторних і виробничих умовах, де виявило високу експлуатаційну надійність і якість роботи.

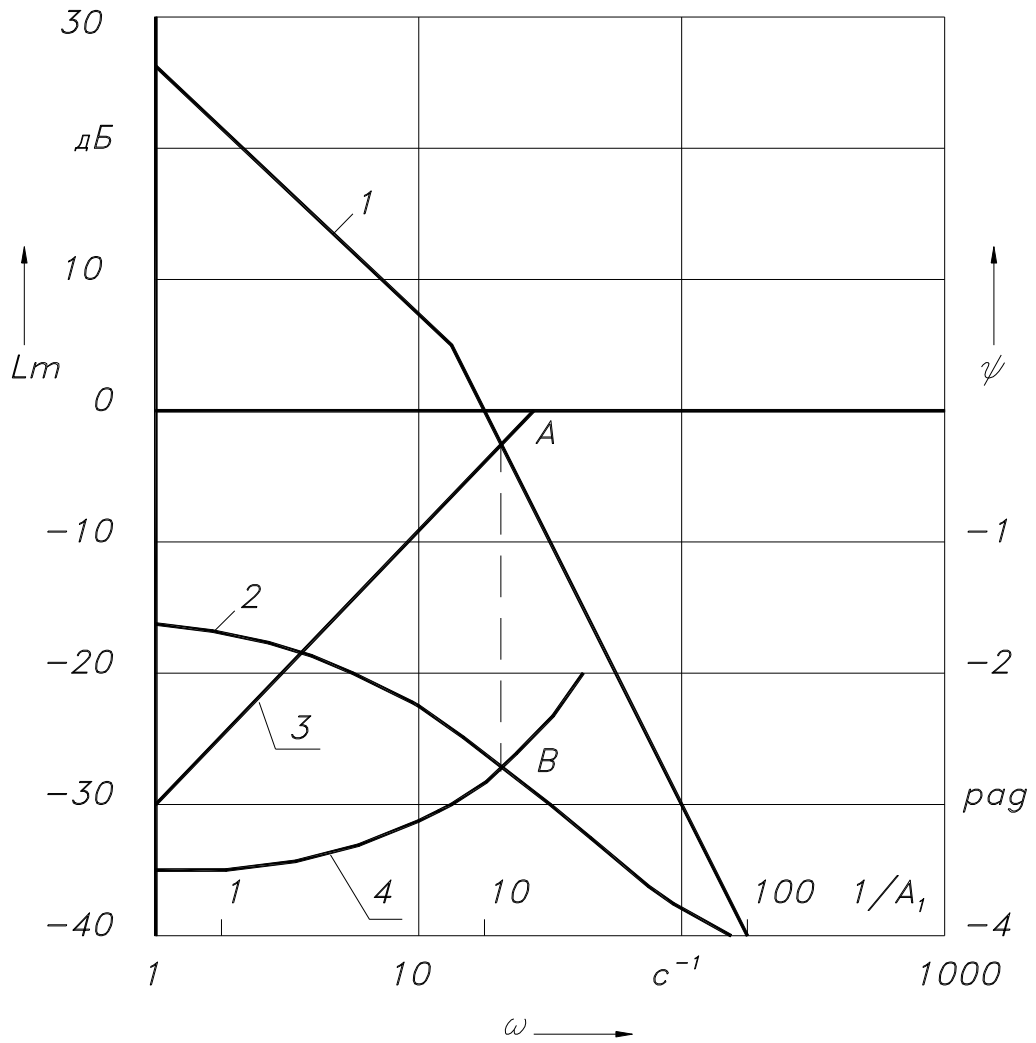


Рис. 6.4. Логарифмічні амплітудна (1) та фазова (2) частотні характеристики лінійної частини екстремальної системи з накладеними амплітудною (3) та фазовою (4) частотними характеристиками нелінійної частини

## ВИСНОВКИ

1. Інтенсифікація овочівництва закритого ґрунту пов'язана із впровадженням енерго- та ресурсозберігаючих технологій вирощування овочів. Аналіз технологій вирощування овочів показує, що найперспективнішими є малооб'ємні технології із застосуванням електротехнологій для інтенсифікації процесу мінерального живлення рослин. Це дає можливість на 15 – 20 % підвищити урожайність овочевих культур та якість продукції при зменшенні витрат води, енергії, мінеральних добрив.

2. Для індикації ефекту магнітної обробки розчинів найперспективнішим є потенціометричний метод із застосуванням електродів для вимірювання рН та ОВП розчинів.

3. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження зміни параметрів води і розчинів мінеральних добрив при магнітній обробці показали, що зміна рН та окислювально-відновного потенціалу прямо пропорційна квадрату магнітної індукції і залежить від числа перемагнічувань, градієнта магнітного поля, складу розчину та швидкості його руху. При збільшенні магнітної індукції до її оптимального значення 100 – 110 мТл рН води і розчину зростає, а ОВП спадає. При подальшому збільшенні магнітної індукції рН знижується і зростає ОВП. Збільшення числа перемагнічувань та градієнта магнітного поля підсилює ефект магнітної обробки. При швидкості руху розчину 0,5 – 1,0 м/с оптимальним є трикратне перемагнічування, так як подальше його збільшення не істотно змінює рН та ОВП розчину. В розчинах мінеральних добрив ефект магнітної обробки посилюється і залежать від концентрації та композиції окремих іонів. Ефект магнітної обробки із плином часу зменшується за експоненціальним законом.

4. Обґрунтовані параметри і розроблена методика розрахунку пристроїв для магнітної обробки розчинів з електромагнітами. Виготовлений апарат для магнітної обробки водних розчинів та проведені його дослідження.

Залежність зміни магнітної індукції від струму в індукторі в робочій області є лінійною, що дає можливість контролювати магнітну індукцію, вимірюючи струм.

Розроблена екстремальна система автоматичного керування магнітною обробкою розчинів, визначені якісні показники її роботи: частота автоколивань складає  $11,9 \text{ с}^{-1}$ , а амплітуда  $0,09 \text{ мТл}$ .

6. Магнітна обробка поливної води у теплицях дає можливість порівняно з існуючими технологіями підвищити урожайність овочевих культур на 15 – 20%, зменшити витрати мінеральних добрив на 10 – 15%, підвищити якість овочевої продукції.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довідник по овочівництву закритого ґрунту / Л.М.Шульгіна, Г.Л.Бондаренко, М.О.Склярєвський та ін. За ред. Л.М.Шульгіної. – К.: Урожай, 1989. – 246 с.
2. Аналіз і перспективи розвитку овочівництва закритого ґрунту і насінництва овочевих культур / З.І.Гриценкова, Є.П.Білоконь, О.М.Ломоносов та ін.// Овочівництво і баштанництво. – К.: Урожай, 1992. – Вип.37 – С. 15 – 19.
3. Акоюн Р.А. Механізація і автоматизація виробничих процесів в захищеному ґрунті. – М.: Колос, 1969. – 298 с.
4. Давтян Г.С. Гідропоніка як виробниче досягнення агрохімічної науки. – Єреван, 1969. – 84 с.
5. Lovelidge B. A master of wins out over rockwool || Grower. – 1989. – Vol.112. - №3 – p. 23-27.
6. Алієв Э.А. Вирощування овочів в гідропонних теплицях. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Урожай, 1985. – 160 с.
7. Musard M., Letard M. Le maraichage sous serres et abres en culture sur substrat || Rev. Hortic. – 1990. - №308. – p. 55-57.
8. Hormes E. Nährfilmtechnik in der Nackbarlündern || Dt. Gartenbau. – 1990. – Jg.44, №17. – s. 1132 – 1134.
9. Resent Development of Hydroponics in Japan | Suzuki Y., Shinohara Y., Shibuga M., Ikeda H. || Pros. Of the 6<sup>th</sup> Intern. Cong. on Soilless Cult. – Lunteren, 1984. – p. 661 – 671.
10. Centermans N. Entwicklung und Einführung der NFT im Belgischen Unterglasgemüsebau || Der Gartenbau ingenieu. – 1990. – Jg.35.№2 – s. 35-37.
11. Савинова Н.И. Малообъемная гидропоника: что сдерживает ее внедрение // Картофель и овощи.- 1989. - №6. – С. 22-26.
12. Стасюкевич А.А., Томашпольский Я.Н., Гордий Н.В. Теплицы с малообъемной гидропоникой // Картофель и овощи. – 1988. - №1. – с. 40-41.

13. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике / Х. Симитчиев, В.Каназирска, К.Мириев, П. Джуров: Пер. с болг. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.
14. Göhler F., Heissner A., Schmeil H. Control of water and nutrient supply in greenhouse || *Acta hortoc.* – 1989. – Vol. 260. – p. 237 – 254.
15. «Uitgebalanceerd» watergeven || *Tuinderij.* – 1978. – Vol. 18. - №17. – p. 38-39.
16. Пилюгина В.В., Шейнгин Ю.Г., Захаров Б.В. Автоматическое управление подачей питательного раствора в теплице на малообъемной гидропонике // *Науч.-техн. бюлл. по электриф.с.х-ва. ВИЭСХ.* 1986. – Вып. 1(56). – с. 33-38.
17. Vaughan J. Comparing ways of going hydroponic || *Grower.* – 1989. Vol.112 -№2. – p. 45 –63.
18. Graves C.I. The Nutrient Film Technique||*Horticulturel Reviews.* – 1983. – Vol.5. – p. 1-44.
19. Павлов В.Н., Швыкин А.И., Горбач Л.П. Малообъемные технологии эффективны // *Картофель и овощи.* – 1990. – №1. – С. 28-30.
20. Огурец в модульной установке непрерывного выращивания овощей /В.И. Камчатный, Ю.Ф. Свириденко, Ю.Н. Липов и др.//*Овощеводство и бахчеводство – К., 1990.– Вып. 35. – С. 29-36*
21. Ikeda M. Soilless Culture in Japan || *Farming Japan.-* 1985. – vol.19. - №6. – p. 35-42.
22. Классен В.И. Омагничивание водных систем. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
23. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П. М. Смирнов, А.В. Петербургский и др.; Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
24. Артамонов В.И. Занимательная физиология растений. – М.: Агропромиздат, 1991 – 336 с.

25. Проектирование комплексной электрификации / Л.Г.Прищеп, А.П. Якименко, Л.В. Шаповалов и др.; Под ред. Л.Г. Прищепа. – М.: Колос , 1983. – 271 с.
26. Пилюгина В.В., Коновалов Н.Т. Электротехнологические методы выращивания томатов на малообъемной гидропонике // Электротехнологии в сельскохозяйственном производстве. – М.: ВИЭСХ, 1989. – с. 51-58.
27. Классен В.И. Вода и магнит. – М.: Наука, 1973. – 110 с.
28. Сокальский А.Н. Омагниченная вода: правда и вымысел. – Л.: Химия, 1990.
29. Кондратенко Л.Н. Влияние электромагнитных полей на образование твердых отложений в аппаратах технологических процессов сельскохозяйственных производств : Автореф. дис. канд. техн. наук. - Краснодар, 1997. – 21с.
30. Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production. – P. 48-50.
31. Хмельницкий Р.А. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1988 – 400 с.
32. Физическая химия/ Под ред. Акад. Б.П.Никольского – Л.:Химия, 1987 – 880 с.
33. Бондаренко М.Ф., Гак Е.З. Электромагнитные явления в природных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 152 с.
34. Кульский Л.А.. Душкин С.С. Магнитное поле и процессы водообработки. – К.: Наукова думка, 1988. – 112 с.
35. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971 – 192 с.
36. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. –М.: Колос, 1968. – 334 с.
37. Моисейченко В.Ф. Методика опытного дела в плодоводстве и овощеводстве. – К.: Вища школа, 1988. – 141с.
38. Методика выбора и оптимизации котролируемых параметров технологических процессов. РДМУ 109-77. –М.: Изд-во стандартов, 1978. – 63 с.

39. Ефремова Н.Ю. Оценка неопределенностей в измерениях: Практическое пособие. – Мн.: БелГИМ, 2003. – 50 с.
40. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. –М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

Таблиця А.1 – Зміна рН та ОВП води при магнітній обробці (рН води 7,28)

В, Тл	Кількість перемагнічувань							
	n = 1		N = 3		n = 3*		n = 5	
	$\Delta pH$	Е, мВ	$\Delta pH$	Е, мВ	$\Delta pH$	Е, мВ	$\Delta pH$	Е, мВ
0	0	365	0	365	0	365	0	365
40	0.1	359	0.12	358	0.1	359	0.13	354
67	0.15	357	0.17	355	0.15	357	0.17	354
96	0.17	356	0.18	354	0.16	356	0.19	352
152	0.11	357	0.14	3565	0.13	357	0.15	356
G	0.33	0.2	0.43	0.2	0.25	0.2	0.33	0.2
F	2.96	0.3	0.57	0.12	0.16	0.3	1.91	0.12

- - градієнт магнітного поля вдвічі менший

Таблиця А.2 – Зміна рН та ОВП живильного розчину Зонневельда при магнітній обробці (рН розчину 5,96)

В, Тл	Кількість перемагнічувань					
	n = 1		n = 3		n = 5	
	$\Delta pH$	Е, мВ	$\Delta pH$	Е, мВ	$\Delta pH$	Е, мВ
0	0	388	0	388	0	388
40	0,06	372	0,09	371	0,08	370
67	0,07	362	0,11	360	0,11	360
96	0,08	360	0,12	358	0,12	358
152	0,06	380	0,09	378	0,09	318
G	0,25	0,3	0,33	0,26	0,25	0,25
F	1,03	3,59	2,45	3,43	1,83	3,4

## Додаток Б

Таблиця Б.1 – Зміна рН розчинів солей та мінеральних добрив при магнітній обробці

В, мТл	Калій сірчаноокислий					
	0,5 г/л			1,0 г/л		
	n=1	n=2	n=3*	n=1	n=3	n=5
0	0	0	0	0	0	0
40	0.11	0.13	0.11	0.12	0.14	0.15
67	0.18	0.2	0.18	0.16	0.18	0.18
96	0.22	0.24	0.21	0.18	0.2	0.21
152	0.19	0.23	0.17	0.13	0.17	0.18
G	0.2	0.57	0.4	0.25	0.25	0.4
F	3.28	0.59	1.34	0.88	3.19	2.6

Продовження таблиці Б.1.

В, мТл	Кальцієва селітра				Калійна селітра			
	0,5 г/л		1,0 г/л		0,5 г/л		1,0 г/л	
	n=1	n=3	n=1	n=3	n=1	n=3	n=1	n=3
0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0,15	0,19	0,17	0,19	0,08	0,09	0,09	0,09
67	0,21	0,25	0,21	0,23	0,12	0,13	0,11	0,11
96	0,23	0,27	0,23	0,27	0,13	0,15	0,13	0,13
152	0,2	0,2	0,21	0,23	0,09	0,12	0,11	0,1
G	0,5	0,25	0,31	0,31	0,25	0,4	0,25	0,57
F	0,84	3,07	3,63	2,86	0,5	0,1	1,89	2,38

Продовження таблиці Б.1.

В, мТл	Магній сірчаноокислий 7-водний				Аміачна селітра			
	0,5 г/л		1,0 г/л		0,5 г/л		1,0 г/л	
	n=1	n=3	n=1	n=3	n=1	n=3	n=1	n=3
0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0,08	0,1	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,1
67	0,13	0,13	0,13	0,13	0,1	0,13	0,12	0,13
96	0,13	0,15	0,15	0,15	0,12	0,15	0,15	0,15
152	0,1	0,13	0,11	0,11	0,1	0,12	0,12	0,12
G	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
F	2,68	0,93	2,13	1,99	0,57	0,1	0,18	0,72

\* - градієнт магнітного поля удвічі менший.

**Додаток В**

Таблиця В.1 - Залежність магнітної індукції від струму в індукторі

U, В	3,7	7,4	11	15	17,3	22,1	26	27,8	36
I, А	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,5	2
B, мТл	29	60	91	124	152	179	194	200	216

