

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Остапчук Артем Олександрович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення системи автоматизації регулювання кислотності ґрунту
при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

кандидат історичних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Остапчук Артем Олександрович. Удосконалення системи автоматизації регулювання кислотності ґрунту при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі розроблено функціональну схему системи регулювання кислотності ґрунту електроактивованими розчинами в умовах закритого ґрунту, яка реалізована і досліджена в програмному комплексі. Отримано передаваточні функції елементів системи, що забезпечує задану якість регулювання, зниження узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення рН ґрунту на 90%.

Визначено оптимальні значення кислотності розчину по критерію мінімального узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення кислотності ґрунту від заданого рівня при різних технологічно допустимих нормах поливу для вирощування томатів в закритому ґрунті.

В результаті виробничих випробувань визначені показники якості регулювання кислотності ґрунту в теплиці: коефіцієнт перерегулювання – 7%, інтегральний середньоквадратичний показник – 9,8%, запас стійкості по амплітуді – 0,25. Встановлено, що при впровадженні системи регулювання кислотності ґрунту в процес краплинного зрошення теплиці площею 200 м² урожайність томатів підвищилася на 16%, а крупність плодів – на 30%.

Ключові слова: автоматизація, управління, електроактивація води, закритий ґрунт, кислотність.

ANNOTATION

Ostapchuk Artem Alexandrovich. Improving the system of automation of soil acidity regulation when growing tomatoes in closed soil conditions – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Electrical Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's work the functional scheme of the system of regulation of soil acidity by electroactivated solutions in the conditions of the closed soil which is realized and investigated in a software complex is developed. The transfer functions of the elements of the system are obtained, which provides a given quality of regulation, reduction of the generalized integrated RMS deviation of soil pH by 90%.

The optimal values of the acidity of the solution were determined by the criterion of the minimum generalized integrated RMS deviation of soil acidity from a given level at different technologically acceptable watering rates for growing tomatoes in closed soil.

As a result of production tests, the quality indicators of soil acidity regulation in the greenhouse are determined: over-regulation coefficient – 7%, integrated root mean square indicator – 9.8%, amplitude stability margin – 0.25. It was found that with the introduction of the soil acidity control system in the process of drip irrigation of a greenhouse with an area of 200 m², the yield of tomatoes increased by 16%, and the size of the fruit – by 30%.

Key words: automation, control, electroactivation of water, closed soil, acidity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	15
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

ВСТУП

На сьогоднішній день вирощування овочів в теплицях набуває все більш важливе значення в зв'язку з цілорічним циклом отримання продуктів харчування.

За кількістю займаних площ закритого ґрунту Україна поступається багатьом країнам. У країнах з дуже сприятливим кліматом, площі займані теплицями в десятки разів більше, ніж в Росії. Наприклад, в Японії - 42 тис. Га, в Туреччині – 41 тис. га, в Італії – 20 тис. га, а в невеликій території Голландії – близько 10 тис. га.

На продуктивність теплиць впливає не тільки зайнята ними площа, але і технології вирощування рослин. В результаті вдосконалення технологій змінюються фізико-хімічні параметри ґрунтів, що призводить до порушення оптимальних умов росту і розвитку овочевих культур, зокрема томатів. Найчастіше буває, що несумлінні виробники турбуються тільки про кількість вирощених продуктів, а не про їх споживчі якості. Якщо рослини вирощувалися на ґрунті, багатій всілякими нітратами, які повсюдно використовують для «живлення» ґрунту, то їх споживчі якості помітно знижуються.

Будь-які поживні речовини і добрива не зроблять рослину сильною, якщо вони не будуть засвоєні. Головною умовою у визначенні доступності для рослини поживних речовин, є кислотність ґрунтового розчину (рН). Для кожної рослини існують оптимальний рівень рН. Деякі поживні речовини стають недоступними для рослини, якщо рН відхиляється від оптимального в результаті внесення добрив або вапнування ґрунтів.

Це призводить до необхідності підтримання необхідного значення рН ґрунту для сільськогосподарських рослин, які вирощуються в умовах закритого ґрунту, з метою створення оптимальних умов для їх росту і розвитку. На нашу думку, цього можна досягти шляхом поливання ґрунту електроактивованими розчинами з заданими параметрами.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягала в поліпшенні показників якості регулювання кислотності ґрунту на основі електроактиватора води при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту.

У відповідності до поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати способи регулювання кислотності ґрунту;
- Розробити функціональну схему системи регулювання кислотності ґрунту електроактиваними розчинами в умовах закритого ґрунту;
- Провести експлуатаційні дослідження.

Об'єкт дослідження – процес електроактивації водного розчину.

Предмет дослідження - показники якості регулювання кислотності ґрунту при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту.

Методи дослідження. В роботі використані основні положення теорії електротехніки, теплотехніки, автоматичного управління, методика планування багатофакторного експерименту, математична обробка результатів теоретичних і експериментальних досліджень проводилася на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Остапчук А. О.** Способи регулювання кислотності ґрунту. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 279-281.

2. **Остапчук А. О.** Методика планування та проведення досліджень електроактиватора води. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 185-186.

3. Савченко Л. Г., Гумений В. С., **Остапчук А. О.** Норми споживання теплової та електричної енергії для різних типів теплиць. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:

матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.) Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 669-672.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впровадженні в тепличних підприємствах України, які займаються вирощуванням томатів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 11 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ

Як правило, відхилення кислотності ґрунту від нейтральної або слабокислої призводять до порушення балансу поживних речовин доступних рослині та пригнічення корисної ґрунтової мікрофлори. Тому так важливо стежити за кислотністю ґрунту [1-9].

Ґрунти стають кислими внаслідок витіснення іонами водню H^+ катіонів кальцію, магнію, натрію і калію. Процес цей оборотний, рН ґрунту можна підвищити внесенням цих елементів. Але найбільш доцільно з економічної точки зору використовувати кальцій [2].

Кальцій найбільш економічний з точки зору підвищення рН ґрунту, крім того, він є дуже важливим елементом живлення рослин, покращує структуру ґрунту, робить її розсипчастою, гранульованою, стимулює розвиток корисних ґрунтових мікроорганізмів, особливо бактерій, що збагачують ґрунт азотом.

Подібними властивостями володіє також магній доволі часто ці елементи застосовують разом. [7].

Вапнування проводять з метою довести рН ґрунту до слабокислого (рН 6,5). Якщо потрібно навпаки, підвищити кислотність ґрунту то допоможуть деякі азотні добрива, наприклад сірчаноокислий амоній, але найбільш ефективна елементарна сірка. До того ж деякі добрива можуть і подщелачивать ґрунт (фосфорна і кісткове борошно, кальцієва селітра) [4].

Зміна кислотності ґрунту при внесенні вапна відбувається не відразу. Залежно від внесеної дози слабокисла або нейтральна реакція встановлюється через 1 – 2 і навіть 3 роки. Це великий термін для промислового овочівництва, яке в даний час базується на беззмінному використанні тепличного ґрунту. Варто також відзначити, що в довідковій літературі відзначаються лише приблизні дози внесення вапна та рідко коли враховується тип ґрунту і його параметри [7-8].

Необхідні нові способи регулювання рН ґрунту, які б відрізнялися екологічністю та швидким часом дії.

На наш погляд одним з таких способів регулювання є полив ґрунту електроактивованими розчинами води з заданими параметрами.

Результати досліджень щодо впливу електроактивованих розчинів на зміну рН ґрунту встановили, що розкислення ґрунту при впливі католіта з рН = 12, а також подальше зміщення рН після припинення поливу [4].

Проведені дослідження доводять ефективність застосування електроактивованої води для зміни рН ґрунту, але прийоми досягнення і підтримки в ґрунтах оптимальних рівнів рН з її допомогою на сьогоднішній день практично не розроблені. Варто також додати, що ґрунти мають таким важливим параметром як буферність – властивість ґрунту перешкоджати зміні її рН під дією кислот і лугів. Для кожного типу ґрунтів цей параметр різний, а значить і вплив, на нашу думку, електроактивованих розчинів на той чи інший тип ґрунту буде різним і це треба врахувати в подальших дослідженнях [10].

Також проводилися дослідження щодо впливу активованих розчинів на врожайність томатів. В результаті поливу католітом і анолітом в співвідношенні 80: 20% врожайність зросла на 22%, а крупність плодів на 44%. Відзначається, що застосування в якості оброблюваної рідини розчину рідких комплексних добрив призводить до зниження часу обробки при одночасному поліпшенні електрохімічних показників активації, а також благотворний вплив електроактивованих розчинів на боротьбу з хворобами і шкідниками овочевих культур [1, 2, 6].

На жаль, в попередніх роботах не враховувався вплив електроактивованих розчинів на рН ґрунту при вирощуванні овочевих культур, що на нашу думку згодом істотно знизить умови зростання рослин.

Розглянемо ґрунт з позиції теорії автоматичного управління. Керуючим впливом тут є: рН і необхідна кількість електроактивованого розчину. Керована величина – зміна рН ґрунту, а збуджуючими впливами є: норма і періодичність

поливу рослин водою, внесення добрив, вапнування, буферність ґрунту, а також температура води [11-15].

Кількість електроактивованого розчину має бути пов'язано з нормами поливу овочевих культур. Таким чином, постає завдання знаходження залежності між кількістю необхідного електроактивованого розчину в рамках норм поливу і його впливом на рН ґрунту для тієї чи іншої овочевої культури з метою підтримки рН ґрунту в діапазоні оптимальному для їх росту і розвитку. Рішення даного завдання дозволить створити систему регулювання кислотності ґрунту [8-10].

Також необхідно створити математичну модель електроактиватора для того щоб ефективно регулювати рН одержуваного розчину.

Отже, постає питання про дослідження двох систем: «електроактиватора - рН одержуваного розчину» і «рН одержуваного розчину – рН ґрунту».

Найголовнішим елементом представленої системи є регулюючий орган електроактиватор, так як від його параметрів залежить реалізація отримання розчину з заданими параметрами. У зв'язку з цим необхідно визначити вимоги, що пред'являються до регулювального органу при його розробці.

Вимоги до регулювального органу системи регулювання кислотності ґрунту електроактивованими розчинами [16-18]:

1. Можливість впровадження в автоматизу поливу рослин;
2. Можливість управління засобами автоматизу;
3. Доступність для малого споживача;
4. Оптимальна температура ґрунту, а відповідно і електроактивованого розчину генерується електроактиватором, при вирощуванні в теплиці рослин томата не повинна перевищувати 25 °С.

Температура ґрунту суттєво впливає не тільки на проростання насіння і розвиток сходів, але і на надходження в рослинний організм елементів живлення. Для кожного виду і навіть сорту рослин можна відзначити температури, при яких відбувається найбільш інтенсивне поглинання тих чи

інших елементів мінерального живлення. У багатьох випадках при електролізі вода на виході має температуру понад 25 °С, тому перед зрошенням її необхідно охолодити.

5. Вода для поливу повинна мати негативний ОВП. Помічено, що вода з негативним ОВП підсилює вегетацію рослин, вони стають більшими, утворюють більше зав'язей, менше хворіють. Так звана «жива вода» використовується нами при регулюванні кислотності ґрунту (процес розкислення ґрунту) має негативний ОВП від -200 до -300 мВ.

6. Підтримка оптимального рН ґрунту для обраної культури (для томатів оптимальний рівень рН = 6,5).

7. Регулюючий орган (електроактиватор) повинен володіти необхідною продуктивністю по воді, яка залежить від норми поливу культури і площі теплиці.

8. Використання солей і хлору для збільшення електропровідності розчину неприпустимо технологією поливу рослин

Розрізняють контактну активацію рідини (КАР) і безконтактну (БАР). Обидва ці способу можуть проводитися як в діафрагмовому так і в бездіафрагмовому електроактиваторі. БАР використовують для зміни ОВП води без зміни її рН, тоді як при КАР змінюється рН і ОВП води [7].

Тому для отримання води і водних розчинів з великим діапазонами значень ОВП і рН доцільно використовувати установки, що поєднують в собі БАР і КАР.

Для зміни рН ґрунту найбільш вигідно використовувати КАР в діафрагмовому проточному електроактиваторі. Дискретні електроактиватори в даній ситуації не підходять в зв'язку з необхідністю отримання великих обсягів води для поливу томатів.

Існує дуже багато патентів на проточні електроактиватори, але всі вони подібні один одному, хоч на перший погляд і відрізняються конструктивно, все-таки мають в якості основи одну і ту ж загальну конструкцію (рис. 1.1).

Електроактивована вода виходить пропусканням електричного струму через звичайну проточну воду в каналі між двома електродами: анодом 1 і катодом 6. Канал електроактиватора розділений діафрагмою 7, тому можна виділити анодну 2 і катодну 5 камеру. Таким чином на виході з електроактиватора виходить аноліт (розчин володіє антисептичними властивостями, $\text{pH} < 7$) і католіт (розчин з лужним значенням $\text{pH} > 7$ [4]).

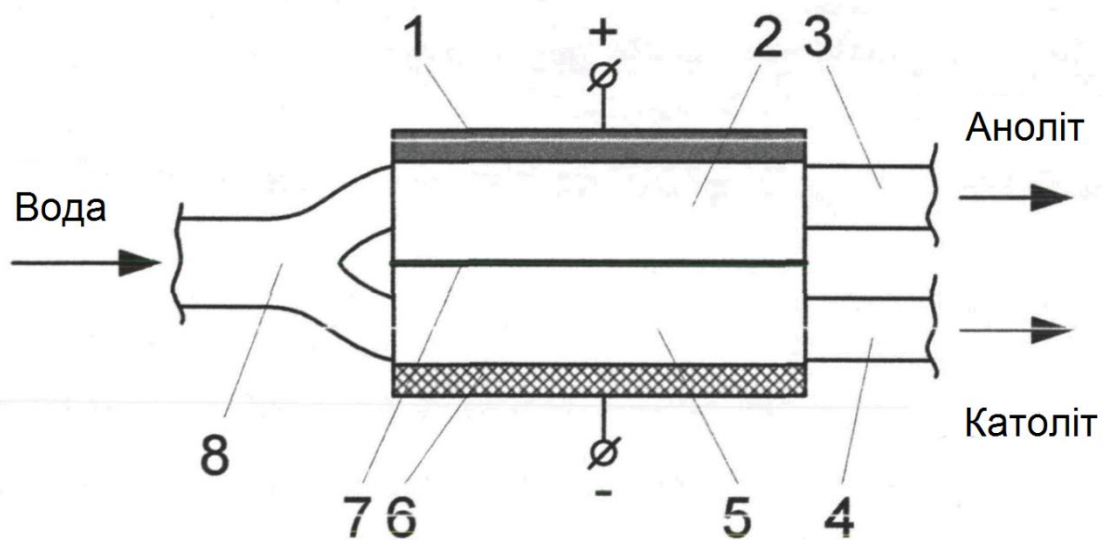


Рис. 1.1. Загальна схема проточного електроактиватора. 1 – графітовий електрод, 2 – анодна камера, 3 – вихідний канал для аноліта, 4 – вихідний канал для католіта, 5 – катодна камера, 6 – металевий електрод, 7 – діафрагма, 8 – підвідний трубопровід.

Аналіз наявних патентів показав, що їх можна розділити на наступні види (рис. 1.2).

Від матеріалу і конструкції електродів електроактиватора залежать технологічні та економічні показники його роботи. У літературі висунуто такі вимоги до типу і конструкції електродів:

- матеріал повинен мати низьку вартість;
- мати високу стійкість до корозії;
- бути доступним;

- виготовлення електродів повинно бути простим;
- робочі поверхні електродів повинні бути по можливості зближені для зменшення втрат напруги [9].

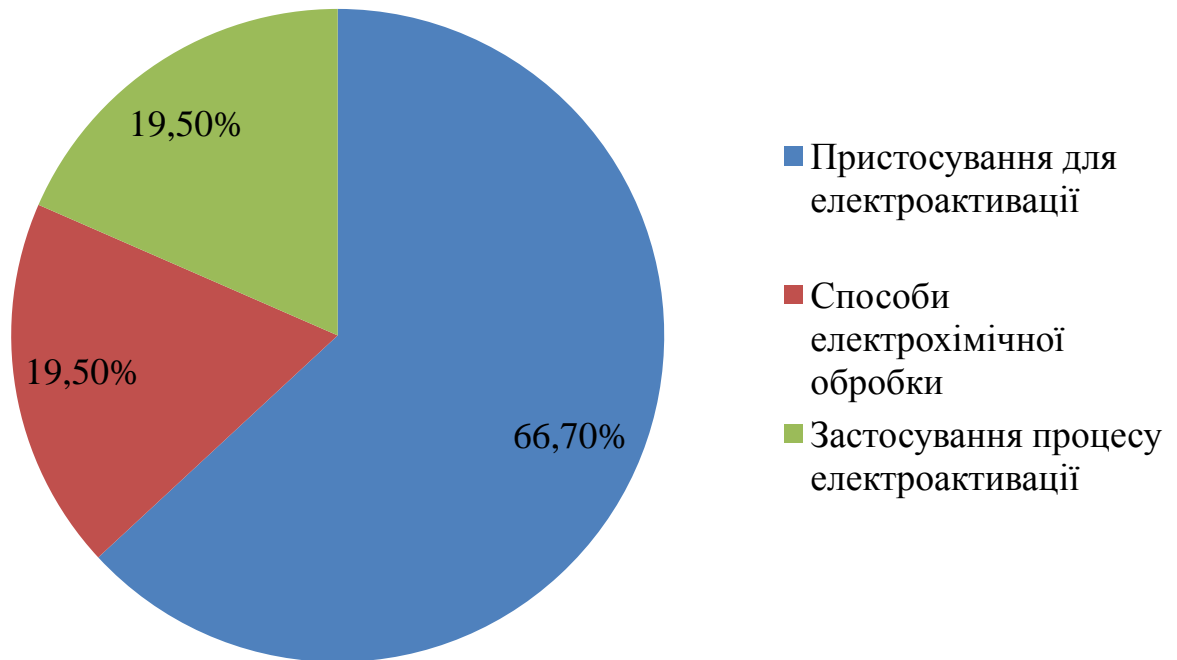


Рис. 1.2 Аналіз наявних патентів по темі електроактивації води.

Звичайно, дотримати всі представлені вище вимоги в одній конструкції електродів неможливо, тому завданням є пошук оптимального варіанту конструкції при якій показники електроактиватора будуть найбільшими.

Висновки по розділу 1

Не в одному з проведених раніше досліджень не враховується той факт, що під дією, яка застосовується для зрошення рослин, електроактивованої води змінюється рН ґрунту, що може стати наслідком порушення технологічного процесу вирощування культур, істотно знизити умови зростання і розвитку

рослин через недоступність поживних речовин. На нашу думку, це є неприпустимим і передбачає необхідність досліджень в даній області, а також створення електроактиватора, що враховує особливості ґрунту, як об'єкта управління і є регулюючому органом системи регулювання кислотності ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських рослин у закритому ґрунті.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення експериментів була зібрана лабораторна установка, що дозволяє отримувати електроактивовані розчини з заданими параметрами для поливу ґрунту (рис. 2.1).

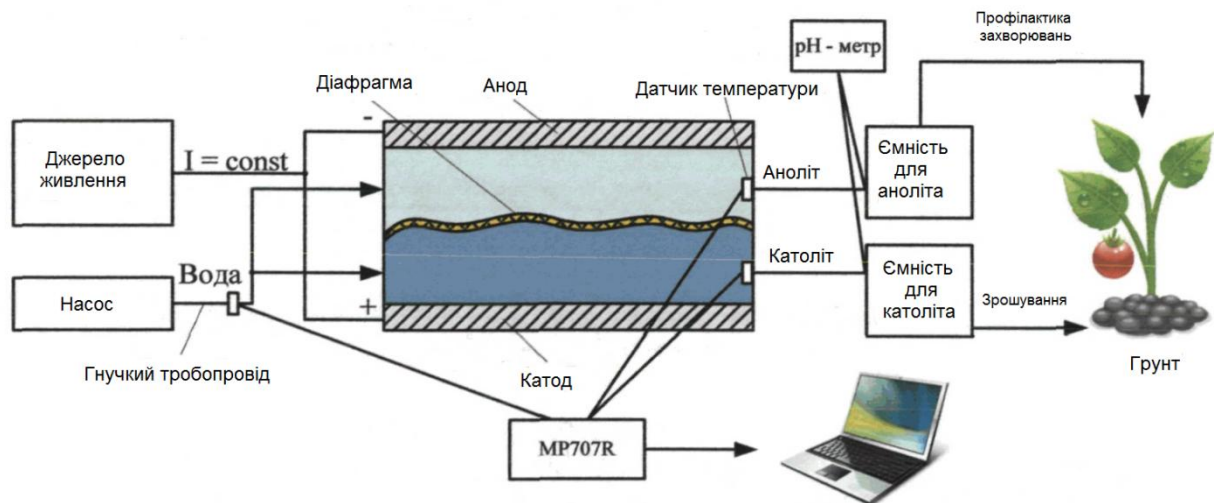


Рис. 2.1. Структурна схема лабораторної установки.

При включенні в мережу напруга подається на джерело живлення і насос. На джерелі живлення задається режим роботи, а також відповідне значення струму, яка буде підтримуватися протягом всієї роботи установки ($I = \text{const}$). Після натискання кнопки «Пуск» на джерелі живлення напруга подається на електроди електроактиватора. У той же час насос створює необхідну подачу води в каналах електроактиватора. Йде процес електролізу в ході, якого заповнюються ємності для аноліта і католіта. Кислотність і іонізація одержуваних розчинів вимірювалася з допомогою рН метра – іономіра «Експерт - 001» (рис. 2.1).

Для вимірювання температури на вході і виході електроактиватора використовується цифровий USB термометр MP707R (рис. 2.1) з герметизованими цифровими датчиками температури DS18B20. Даний цифровий термометр підключається до ПК і за допомогою спеціалізованої програми «BM1707» виводить показники датчиків температури на екран

комп'ютера у вигляді графіків або таблиці. Одержані дані можуть бути оброблені в програмі MS Excel.

За допомогою отриманих розчинів проводили зрошення ґрунту. Для проведення експерименту було взято універсальний ґрунт «Добрий помічник». кислотність рН = 6,5.

Кислотність ґрунту визначали потенціометричним методом. До рН-іометра під'єднали скляний вимірювальний електрод і порівняльний хлорсрібний електрод. Робочою частиною вимірювального електрода є скляна мембрана. При вимірі водневого показника ґрунту між мембраною і розчином (суспензією) виникає різниця потенціалів, яка залежить від активності іонів водню в розчині. Оскільки прилади відкалібровані в одиницях кислотності, то різниця потенціалів на скляному електроді і порівняльному електроді дає відповідну величину водневого показника.

Хід аналізу водневого показника ґрунту:

1. Для визначення кислотності 10 г ґрунту зважували на вагах з точністю до 0,1 г і переносили в скляну ємність на 50 мл.

2. До навіски додавали 25 мл дистильованої води, щоб відношення ґрунт : розчин склало 1: 2,5.

3. Вміст ємності перемішували протягом 5 хвилин скляною паличкою.

4. У суспензію поміщали скляний вимірювальний і порівняльний електрод.

5. Вимірювали рН на потенціометрі.

Експериментальні дані представлені в табл. 2.1. Повторність дослідів триразова.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані впливу електроактивації на температуру води при різній геометрії канал

N=16	Стандартний канал K=1		Канал з K = 0,85	
	I, А	T, °C	I, А	T, °C
Початок дос.		18		18
1	16	35,3	16	34,1
2	17	37,2	17	35,7
3	18	39,1	18	37,3
4	19	41,1	19	39
5	20	43,1	20	41
6	21	45,1	21	43,1
7	22	47	22	44,3

Для отримання регресійних моделей описують вплив параметрів поливу електроактивованими розчинами на кислотність ґрунту при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту в якості незалежних змінних прийняті основні параметри обробки: x_1 – рН електроактивованої води, яка використовується для поливу ґрунту, інтервал варіювання 1. x_2 – кількість води, л/м², інтервал варіювання 10 л/м².

В ході пошукових експериментів нами було з'ясовано, що кислотність ґрунту після поливу змінюється з часом. Тому в якості залежних змінних взяті:

y_1 – рН ґрунту через час $t = 1$ годину;

y_2 – рН ґрунту через час $t = 1$ добу;

y_3 – рН ґрунту через час $t = 2$ доби;

y_4 – рН ґрунту через час $t = 4$ доби;

y_5 – рН ґрунту через час $t = 8$ діб.

Метою експерименту по дослідженню впливу параметрів обробки ґрунту електроактивованими розчинами на її кислотність є отримання регресійних моделей описують вплив параметрів поливу електроактивованими розчинами

на кислотність ґрунту при вирощуванні томатів в умовах закритого ґрунту. Регресійний аналіз проведено за допомогою програми STATISTICA (рис. 2.2).

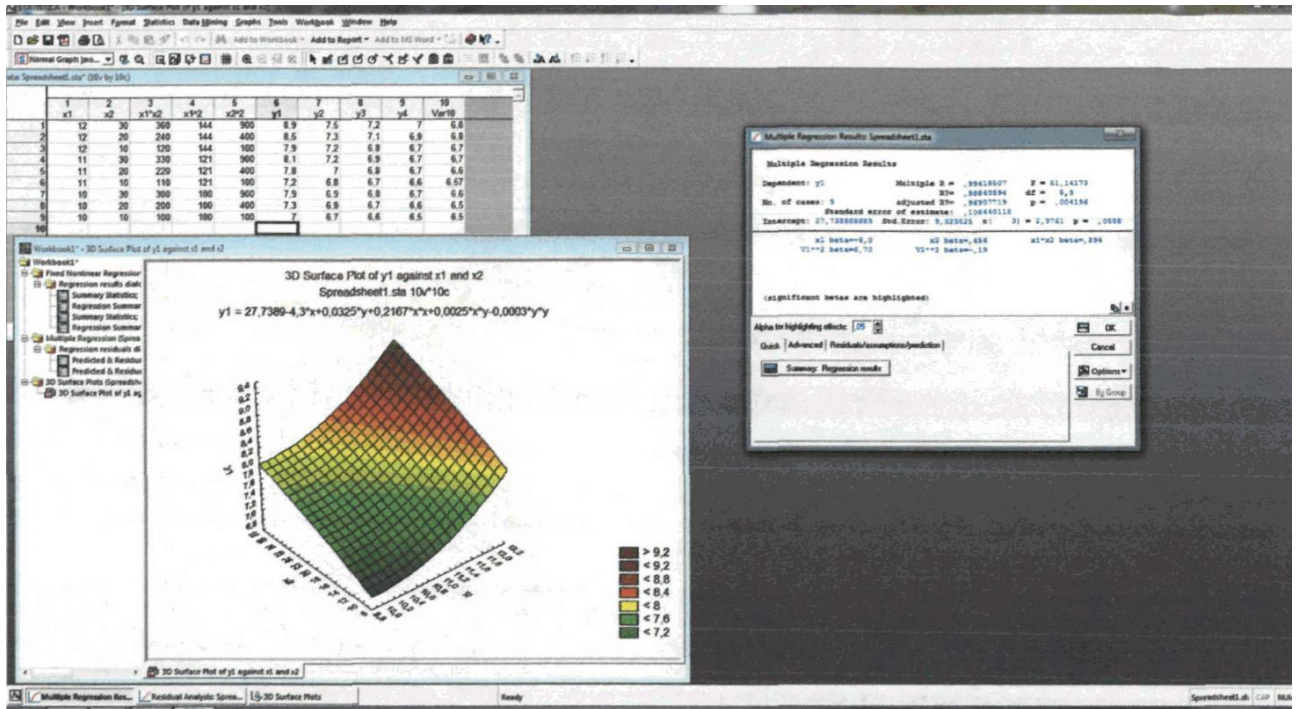


Рис. 2.2. Екран програми STATISTICA 6.0 з результатами регресійного аналізу.

Висновки по другому розділу

В другому розділі магістерської роботи запропонована конструкція електроактиватора та розроблена методика експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За результатами дослідів отримано математичну модель (3.1.), яка дає можливість проаналізувати вплив рН електроактивованого розчину x_1 і його кількості x_2 в абсолютних одиницях на кислотність ґрунту через час $t = 1$ годину y_1 .

$$y_1 = 27,738889 - 4,3x_1 + 0,0325x_2 + 0,002500x_1x_2 + 0,216667x_1^2 - 0,000333x_2^2 \quad (3.1)$$

Аналіз експериментально отриманих значень залежної змінної y_1 і передбачених регресійної моделлю представлений в табл. 3.1 і графічно зображений на рис. 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Дані аналізу отриманої моделі залежної змінної y ;

N=9	Спостереження	Передбачені значення	Різниця	Standard Predicted	Standard Residual	Ст. ошибка пред. значений	Mahanano bis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
1	8,900000	8,913889	-0,013889	1,74438	-0,12808	0,097328	5,555555	-0,071431	0,058255
2	8,500000	8,455556	0,044444	0,99679	0,40985	0,080826	3,555556	0,099999	0,078739
3	7,900000	7,930555	-0,030555	0,14046	-0,28177	0,097328	5,555555	-0,157141	0,281932
4	8,100000	8,155556	-0,055555	0,50746	-0,51231	0,080826	3,555556	-0,125000	0,123031
5	7,800000	7,722222	0,077778	-0,19936	0,71724	0,080826	3,555556	0,175000	0,241142
6	7,200000	7,222222	-0,022222	-1,01491	-0,20493	0,080826	3,555556	-0,050001	0,019686
7	7,900000	7,830555	0,069445	-0,02265	0,64040	0,097328	5,555555	0,357144	1,456299
8	7,300000	7,422222	-0,122222	-0,68869	-1,12709	0,080826	3,555556	-0,274999	0,595470
9	7,000000	6,947222	0,052778	-1,46347	0,48670	0,097328	5,555555	0,271429	0,841153
Minimum	7,000000	6,947222	-0,122222	-1,46347	-1,12709	0,080826	3,555556	-0,274999	0,019686
Maximum	8,900000	8,913889	0,077778	1,74438	0,71724	0,097328	5,555555	0,357144	1,456299
Mean	7,844444	7,844444	-0,000000	-0,00000	0,00000	0,088160	4,444444	0,025000	0,410634
Median	7,900000	7,830555	-0,013889	-0,02265	-0,12808	0,080826	3,555556	-0,050001	0,241142

Для всіх дев'яти можливих варіацій незалежних параметрів поливу ґрунту електроактивованими розчинами проведено порівняння експериментально отриманих даних з встановленими моделлю. При цьому максимальне відхилення кислотності ґрунту передбаченої математичною моделлю від

експериментальних даних склало 0,122222, що не перевищує 5% і дозволяє судити про достатню точності отриманої моделі.

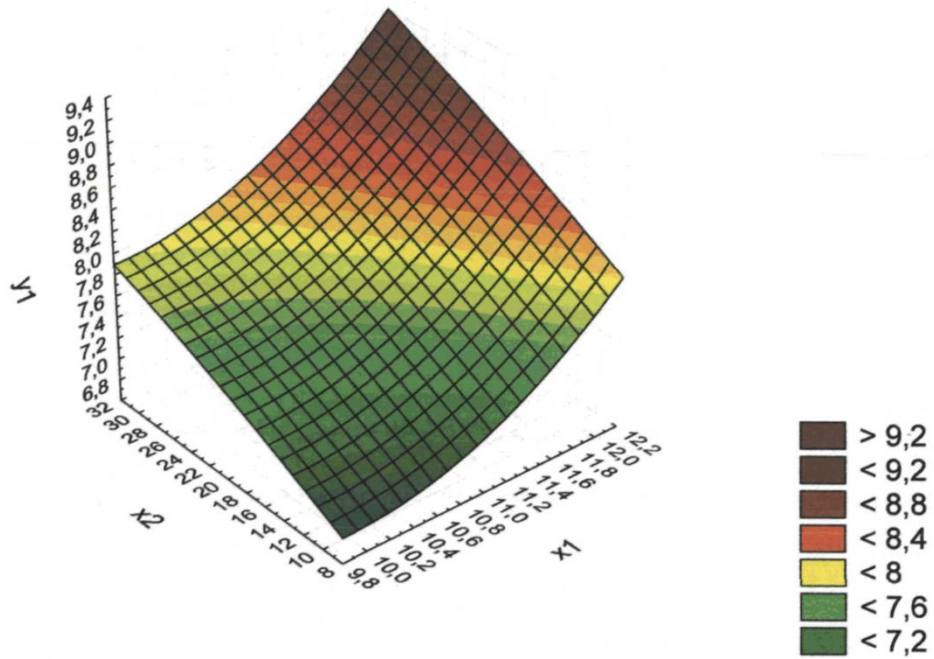


Рис. 3.1. Вплив водневого показника електроактивованого розчину (x_1) і його кількості (x_2) на кислотність ґрунту через час $t = 1$ годину

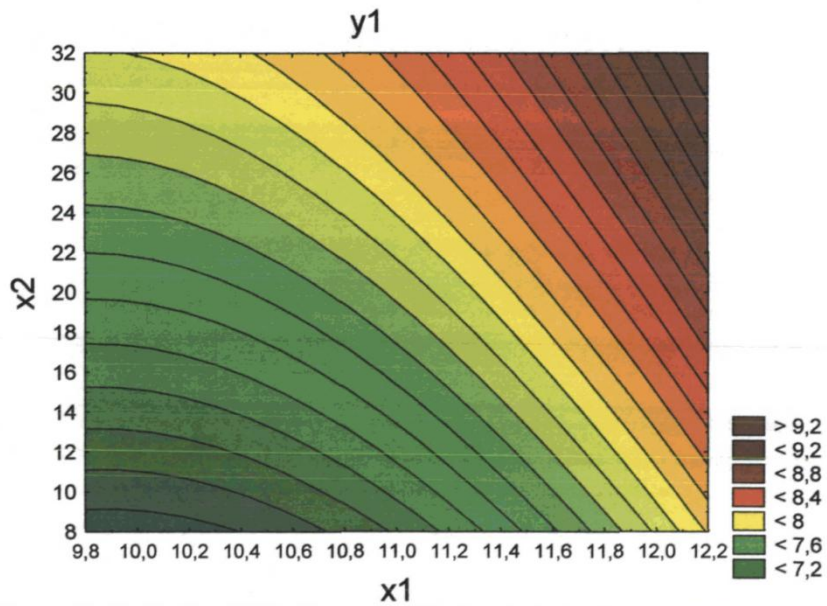


Рис. 3.2. Вплив водневого показника електроактивованого розчину і його кількості на проекцію поля параметра кислотності ґрунту через час $t=1$ годину

Такі результати отримані для всіх змінних: y_1 – рН ґрунту через час $t = 1$ годину; y_2 – рН ґрунту через час $t = 1$ добу; y_3 – рН ґрунту через час $t = 2$ доби; y_4 – рН ґрунту через час $t = 4$ доби; y_5 – рН ґрунту через час $t = 8$ діб (рис. 3.3.).

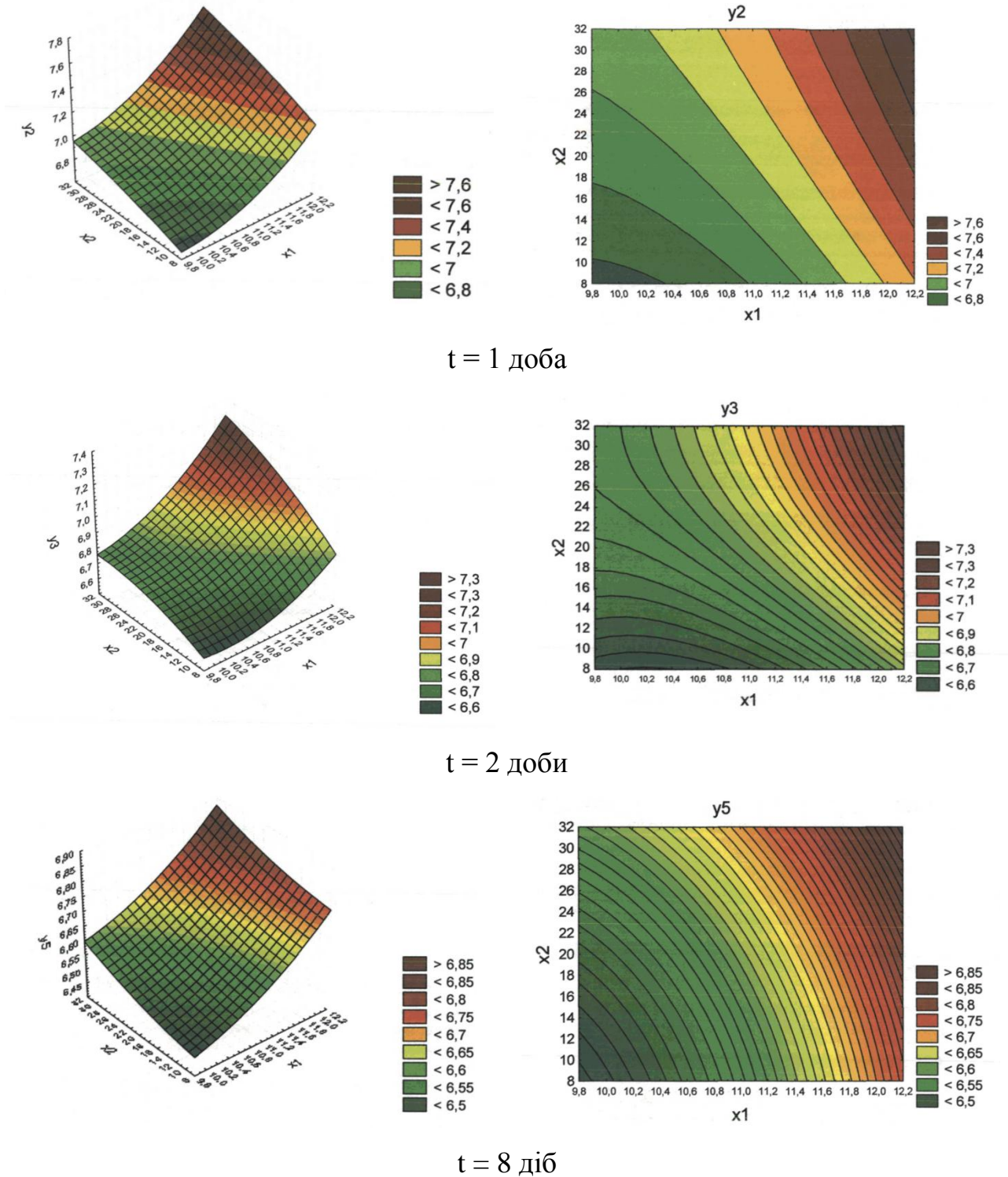


Рис. 3.3. Вплив водневого показника електроактивованого розчину (x_1) і його кількості (x_2) на кислотність ґрунту через час t

Для визначення оптимального керуючого впливу для точного і якісного регулювання кислотності ґрунту оптимізуємо параметри обробки за критерієм мінімального значення узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення J .

Застосовуючи принцип обмеження, зменшить безліч всіх можливих рішень знаходження оптимальних параметрів процесу регулювання кислотності ґрунту до підмножини допустимих рішень. Для цього обмежимо наступні параметри: норма поливу, час між поливами, температура електроактивованого розчину на виході з електроактиватора. Величина норми поливу визначається з часу року і періоду вирощування томатів (висадка розсади, період цвітіння, період дозрівання плодів і т.д.). Залежно від цього норма поливу лежить в діапазоні від 10 до 30 л/м². Час між поливами становить 7 діб (168 годин).

Були визначені значення J для кожного з варіантів параметрів обробки ґрунту при внесенні суперфосфату (рис. 3.27) і отримана функція x_6 .

$$y_6 = 997,802944 - 171,187833x_1 - 9,3216083x_2 + 0,829675x_1x_2 + 7,3283333x_1^2 + 0,0173283x_2^2 \quad (3.2)$$

Для того щоб знайти оптимальні параметри обробки за критерієм мінімального значення J необхідно знайти екстремуми функції (3.2 рис. 3.4).

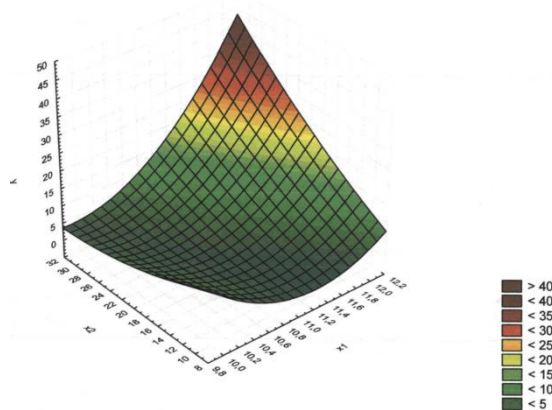


Рис. 3.4. Діаграма залежності узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення (y_6) від величини водневого показника води (x_1) і її кількості (x_2).

Отримана регресійна модель (3.2) описує оптимальні параметри поливу ґрунту електроактивованими розчинами для його розкислення; водневий показник розчину $pH = 9,983$; кількість розчину 30 л/м^2 . Також визначено і оптимальні параметри електроактивованого розчину для норм поливу в 20 л/м^2 і 10 л/м^2 (рис. 3.5).

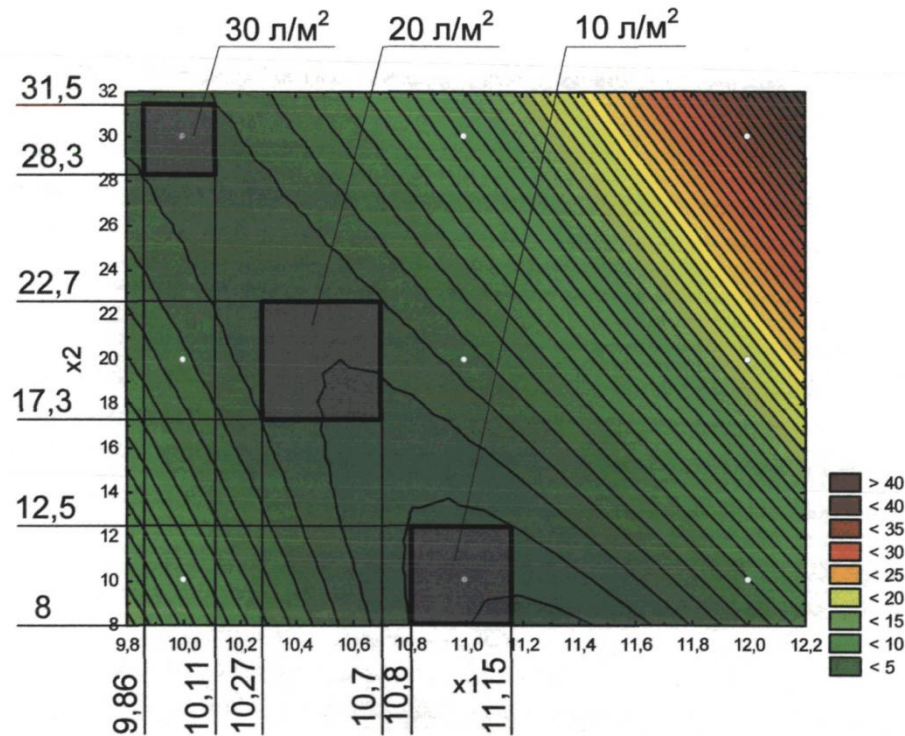


Рис. 3.5. Поверхня проєкцій узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення (y_6) на осі водневого показника водного розчину (x_1) і норми поливу (x_2).

Проведене математичне моделювання та експериментальні дослідження дозволили отримати необхідні значення pH розчинів, які генеруються електроактиватора для регулювання кислотності ґрунту при внесенні добрив протягом вирощування томатів в умовах закритого ґрунту, а також створити електроактиватора відповідає необхідним вимогам. Необхідно провести випробування системи в реальних умовах теплиць Житомирської області.

Порядок досліджень: за об'єкт досліджень приймалося 2 теплиці площею 200 м^2 кожна (рис. 3.6). У першій проводилося вирощування томатів за звичайною технологією, в другій з системою регулювання кислотності ґрунту.



Рис. 3.6. Розроблений електроактиватор і процесу поливу томатів.

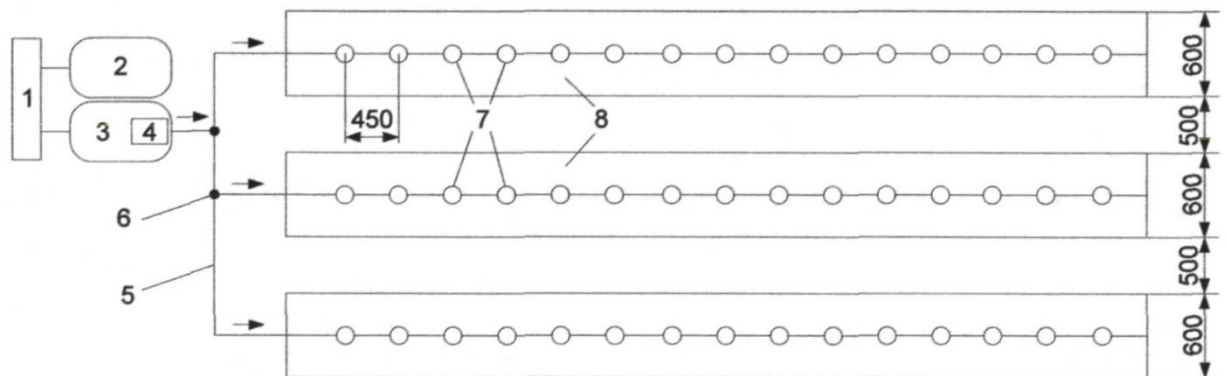


Рис. 3.7. Технологічна схема системи регулювання кислотності ґрунту: 1 – електроактиватор; 2 – бак для аноліта; 3 – бак для католіта; 4 – насос; 5 – магістральний трубопровід; 6 – фітінг; 7 – крапельниця; 8 – грядка.

Перед висадкою розсади в цілях знезараження і зниження концентрації решти добрив ґрунт в теплиці був политий розчином аноліта з рН = 2,5. Перед висадкою розсаду обприскали тим же розчином аноліта для профілактики від фітофтоза та бурої плямистості.

Проведені виробничі випробування показали збільшення врожайності томатів на 16% і крупності плодів на 30% при використанні системи регулювання кислотності ґрунту в порівнянні з контролем. Це пояснюється створенням найкращих умов для зростання і розвитку, так як при підтримці оптимального для рослини рН ґрунту їм доступно більша кількість необхідних мінеральних речовин.

Висновки по розділу 3

На базі експериментальних досліджень отримана математична модель, що описує вплив водневого показника електроактивованого розчину і його кількості на кислотність ґрунту. Модель обґрунтовує керуючий вплив, яке необхідно сформулювати для точного регулювання кислотності ґрунту.

Визначено оптимальні параметри поливу ґрунту електроактивованими розчинами для її розкислення. Так для норми поливу в 30 л/м^2 оптимальний водневий показник розчину $\text{pH} = 9,983$.

В результаті виробничих випробувань встановлено параметри якості регулювання кислотності ґрунту в теплиці: коефіцієнт перерегулювання – 7%, узагальнений інтегральний середньоквадратичний показник – 9,8%.

ВИСНОВКИ

Розроблено функціональну схему системи регулювання кислотності ґрунту електроактивованими розчинами в умовах закритого ґрунту, яка реалізована і досліджена в програмному комплексі. Отримано передавачні функції елементів системи, що забезпечує задану якість регулювання, зниження узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення рН ґрунту на 90%.

Отримано регресійна модель, що описує вплив рН електроактивованого розчину і його кількість на кислотність ґрунту в часі. Модель обґрунтовує керуючий вплив, яке необхідно сформувати для точного регулювання кислотності ґрунту.

Адекватність моделі доведена розрахунком критерію Фішера, який склав $F(5,3) = 24,3$ і коефіцієнта детермінації $R_2 = 0,88$.

Визначено оптимальні значення кислотності розчину по критерію мінімального узагальненого інтегрального середньоквадратичного показника відхилення кислотності ґрунту від заданого рівня при різних технологічно допустимих нормах поливу для вирощування томатів в закритому ґрунті.

В результаті виробничих випробувань визначені показники якості регулювання кислотності ґрунту в теплиці: коефіцієнт перерегулювання – 7%, інтегральний середньоквадратичний показник – 9,8%, запас стійкості по амплітуді – 0,25. Встановлено, що при впровадженні системи регулювання кислотності ґрунту в процес краплинного зрошення теплиці площею 200 м² урожайність томатів підвищилася на 16%, а крупність плодів – на 30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прилуцкий В. И. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия Москва : ВНИИИ мед. техники, 1997. 232 с.
2. Пындак В. И., Лагутин В. В., Юшкин А. В. Перспективы применения экологически чистых активированных водных растворов в растениеводстве. *Поволжский экологич. вест.* Вып. 8. 2001. - С. 119 -422.
3. Плутахин Г. А. Практика использования электроактивированных водных растворов в агропромышленном комплексе. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ.* 2013. №93. С. 108-123. – URL: <http://ej.kubagro.ru/rules.asp> (дата обращения: 15.09.2016).
4. Семенов С. Я. Технология применения электроактивированных растворов при возделывании бахчевых культур. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование.* 2013. Т. 1, № 3. С. 194-198.
5. Городній М.М., Каленський В.П. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення: монографія. Київ: «Арістей», 2004.487 с.
6. Паньків Н. О. Вплив едктрохімічно активованої води на ферментативну активність спиртових дріжджів. *Технологии органических и неорганических веществ.* 2013. № 3/6 (63). С. 29.
7. Цокур Д.С. Система повышения урожайности томатов в условиях закрытого грунта электроактивированными растворами на базе программируемого микроконтроллера ATMEGA 16. *Сборник научных трудов. Студенчество и наука.* 2013, Выпуск 9. Том 1. с 539-542.
8. Куртов, В. Д. Об удивительных свойствах электроактивированной воды. Киев : ГУИКТ, 2011. 236 с.
9. Шрамко, Г.А. Влияние длительности электролиза воды и последующей релаксации на электрохимические характеристики католита и

анолита. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. № 35. – С. 385- 388.

10. Cloete T. E. The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* as determined by SDS-PAGE. *Journal of Applied Microbiology*. 2009 . №107. P. 379–384.

11. Бахир В. М. Электрохимическая активация: ключ к экологически чистым технологиям водоподготовки. *Водоснабжение и канализация*. 2012. №1-2. С.89.

12. Бакало О.О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці. *Технології та дизайн*. 2018. № 3. С. 1-9.

13. Кондратьева, Н.П. Повышение эффективности электрооблучения растений в защищенном грунте. Диссертация на соиск. уч. ст. доктора техн. наук. Москва : ВИЭСХ, 2003. 365с.

14. Lee M. Y. Electrolyzed-reduced water protects against oxidative damage to DNA, RNA, and protein. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2006. V. 135(2). P. 133-144

15. Massimo B. Getting Started with Arduino, 2nd Edition. MakerMedia, 2011. 130 p.

16. Чушкин А.Н. Совершенствование систем капельного орошения активированной водой. *Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства*. Москва: ВНИИГиМ. 2009. Т. 2. С. 192-196.

17. Mathew J. Relative humidity sensor based on an agarose-infiltrated photonic crystal fiber interferometer. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2012. Vol.18. P. 52.

18. . Venugopalan T. Long-period grating-based humidity sensor for potential structural health monitoring. *Grattan Sensors and Actuators A: Physical*. 2008. Vol. 148, No. 1. P. 57-62.