

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро

ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Система дистанційного керування теплицею вирощування
мікрозелені»

Здобувача групи СУм.дн-21п
Олександрович

Радченко Руслан

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

Руслан РАДЧЕНКО

Керівник доцент, к. ф.-м. н., В'ячеслав ЖУРБА

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Суми – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КСУ

_____ Петро

ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Радченко Руслан Олександрович

(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система дистанційного керування теплицею вирощування мікрозелені.

затверджена наказом ректора СумДУ № _____ від " _____ " _____ 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, технічна документація, перелік літературних джерел.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): огляд існуючих тепличних систем і способів вирощування мікрозелені, переваги та недоліки такого вирощування, система дистанційного керування теплицею, система автоматизованого керування теплицею, апаратні засоби автоматизації теплиці дистанційного вирощування.

5. Перелік графічних матеріалів: 27 рисунків, 1 додаток, 7 схем.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання. Огляд літератури.	07.11.2023 – 08.11.2023
2	Розгляд існуючих систем дистанційного	09.11.2023 –

	управління та способів вирощування мікрозелені.	15.11.2023
3	Створення контурів регулювання та їх математичних моделей.	16.11.2023 – 22.11.2023
4	Розрахунок регуляторів для системи регулювання мікроклімату теплиці.	23.11.2023 – 26.11.2023
5	Розроблення схем автоматизації.	27.11.2023 – 28.11.2023
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	28.11.2023 – 15.11.2023

7. Дата видачі завдання " 07 " листопада 2023 р.

Керівник проекту:

Доцент, к. ф.-м. н.
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

В'ячеслав ЖУРБА
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:
студент гр. СУМ.ДН-21п
(шифр групи)

(підпис)

Руслан РАДЧЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

. Радченко Руслан Олександрович. Система дистанційного керування теплицею вирощування мікрозелені. Дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Робота містить: 45 сторінки, 27 рисунків, 1 додаток, 7 схем.

Магістерська робота присвячена розробці та дослідженню системи дистанційного керування теплицею вирощування мікрозелені. Основний акцент робиться на системі, яка автоматизовано буде керувати заданими параметрами, та включати в себе давачі для моніторингу, систему поливу та регулювання температури та вологи.

Було розглянуто існуючі способи та методи вирощування мікрозелені. Визначено контури керування та створено математичні моделі. Розроблено систему регулювання рівнем вологи повітря, температурою та систему подачі живильного розчину.

Ключові слова: автоматизація, система дистанційного керування, мікрозелень, розумна теплиця.

ABSTRACT

Ruslan Oleksandrovich Radchenko. The system of remote control of the greenhouse for growing microgreens. Graduate work. Sumy State University. Sumy, 2023

The work contains: 45 pages, 27 figures, 1 appendix, 7 schemes.

The master's thesis is devoted to the development and research of a system for remote control of a greenhouse for growing microgreens. The main emphasis is on a system that will automatically manage the set parameters and include sensors for monitoring, an irrigation system and regulation of temperature and humidity.

The existing ways and methods of growing microgreens were considered. Control contours were determined and mathematical models were created. A system for regulating the level of air humidity, temperature, and a nutrient solution supply system has been developed.

Keywords: automation, remote control system, microgreens, smart greenhouse.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГУ – гідропонна установка

МІ – мікроконтролер

СУ – система управління

ФСА – функціональна схема автоматизації

БЖ – блок живлення

NFT – nutrient film technique

DFT – deep flow technique

СА – система автоматизації

ВСТУП

В наші часи мікрозелень починає набувати більшої популярності, оскільки це корисна екологічна та легка добавка до звичайного харчового раціону людини. Її можуть використовувати в салатах, в якості прикраси страви, або як окрему страву. Однією з ключових тенденцій стає впровадження новітніх технологій у системи сільського господарства з метою збільшення врожаю та оптимізації виробничих процесів. Автоматизовані теплиці для вирощування мікрозелені в наш час набувають все більшої переваги, через їхню простоту, продуктивність та зростаючу популярність мікрозелені.

Актуальність дистанційного вирощування має великий практичний потенціал в сільському господарстві. Технологія вирощування з мінімальним

втручанням людини дозволяє оптимізувати процеси вирощування рослин, забезпечуючи оптимальні умови для швидкого росту мікрозелені. Автоматизація теплиць у поєднанні з системою дистанційного керування дозволяє забезпечити стабільність вирощування та постійний контроль параметрів які напряму впливають на якість та швидкість росту мікрозелені. З кожним роком збільшується потреба у масштабуванні виробництва продуктів харчування, особливо мікрозелень, яка являється цінним додатком для різноманітних страв, та має у своєму складі в декілька разів більше концентрацію корисних мікроелементів ніж у звичайних рослинах. Використання автоматизованих систем дозволить ефективніше використовувати природні ресурси, в разі збільшити врожайність та зменшити вплив людського фактору на вирощування мікрозелені.

Мета магістерської роботи – це розробити та впровадити систему автоматичного дистанційного керування теплицею з вирощування мікрозелені. Ця система буде включати в себе сучасні технології для збору даних, аналізу та керування об'єктом, що дозволить забезпечити необхідні умови для швидкого та безпечного зростання мікрозелені зі збільшеною продуктивності. Важливою умовою побудови керуванні – це відстеження стану теплиці в режимі реального часу , що сприятиме оперативній реакції на негативні зміни параметрів що моніторять.

Методи досліджень які використовувалися в магістерській роботі:

- Експериментальні спостереження. Проводилися спостереження за ростом мікрозелені в умовах теплиці, збір даних про стан середовища та реакцію рослин.
- Моделювання. Створення математичних моделей, щоб спрогнозувати зміну важливих параметрів при різних збурюючих впливах.

- Експерименти з режимами. Проведено експерименти з різними налаштуваннями системи, щоб визначити найбільш оптимальні умови для вирощування мікрозелені, та визначити фактори які впливають на врожайність.

Результатом роботи стало створення та реалізація теплиці, яка в автономному режимі може підтримувати життєво необхідні параметри рослин, з можливістю дистанційного керування та моніторингу стану системи, було описано та підібрано виконавчі механізми, які дозволять реалізувати таку систему або інтегрувати її у вже існуючу теплицю.

- **Сучасні методи вирощування.**

В часи новітніх технологій, автоматизація доволі сильно змінила сільськогосподарську діяльність. Раніше доглядом за теплицею займалося декілька людей, зараз достатньо однієї людини, яка може самостійно обслуговувати теплицю, додавати живильний розчин в баки та слідкувати за важливими параметрами прямо зі смартфона.

Вирощують мікрозелень методом гідропоніки. Суть цього методу, це коли коріння рослини поміщають у водний розчин, або вологе середовище. Метод дозволяє вирощувати рослини без використання землі. Це дозволяє рослині отримувати всі поживні речовини прямо через коріння, що забезпечує оптимальні умови для росту та розвитку рослини. Рослини поміщаються в спеціальні контейнери з безперебійною подачею правильно підготовленого живильного розчину. Розчин подають за допомогою спеціальних pomp, потужність яких залежить від методу вирощування. Зазвичай рослини при вирощуванні гідропонікою ростуть набагато швидше ніж при звичайному

вирощуванні. В свою чергу для вирощування потрібно набагато менше води та електроенергії. Рослини ростуть без використання землі, що дозволяє уникнути небажаних хвороб та шкідників рослин.

Універсальність цього способу дозволяє вирощувати рослини майже в будь яких погодних умовах, пори року та кліматичних умов. Підтримання оптимальних умов в теплиці дозволяє навіть взимку отримувати якісну продукцію із гідним рівнем якості. Гідропоніка знайшла застосування у вирощуванні мікрозелені, помідорів, огірків, салату та багато іншої зелені. Цей метод стає все більш популярним у сільському господарстві оскільки простота та великі об'єми врожаю дозволяють окупити автоматизовані ферми в мінімальні строки.[2]

Розглянемо основні способи вирощування мікрозелені в умовах теплиці.

1.1 Метод живильної плівки. Один із найпростіших методів, який доволі легко впровадити в своїй теплиці. Суть цього методу, полягає в постійній подачі живильного розчину через ємності, в яких рослини розташовані таким чином, щоб коріння доставало до потоку рідини. Ємності спеціально розташовані під невеликим кутом, щоб за допомогою гравітації, розчин стікав назад в резервуар, звідки насосами підніматиметься наверх установки.

Метод являється одним із найпростіших, оскільки потрібно лише подавати правильний розчин. Але в свою чергу якщо насоси перестануть працювати, рослини швидко загинуть без подачі рідини. Також для реалізації цього методі потрібно заздалегідь пророщувати рослини, щоб коріння було достатньої довжини. [14]

1.2 Метод глибинного потоку. Основою цього методу являються великі ємності, які мають постійний рівень рідини, все залежить від виду вирощуваної рослини. Метод базується на зануренні коріння рослин у воду, яка збагачена потрібними мікро- та макроелементами, що потрібні для правильного росту та розвитку рослини. Обов'язковою умовою глибинного потоку являється аерація води. Поживний розчин постійно потрібно збагачувати киснем, оскільки коріння рослин не має прямого контакту з повітрям. Аерація відбувається за допомогою спеціальних камер або дифузорів, що забезпечує насичення киснем води та підтримує здоровий ріст коренів. [14]

Баки для живильного розчину оснащують давачами температури та рН – рівня, що дозволяє операторам точно контролювати умови зростання рослин. Цей метод дозволяє знизити використання водних та енергоресурсів та позбутися шкідників та хвороб рослин. Також цей метод славиться швидким зростанням мікрозелені та високою якістю продукту.

1.3 Аеропонна техніка. Суть цього метода, в тому, що рослини вирощуються без використання землі або традиційної гідропоніки, де корені знаходяться в рямому контакті з живильним розчином. Натомість, корені обприскуються водним розчином.

Система аеропоніки складається з резервуара для поживного розчину, насоса високого тиску, для подачі живильного розчину, форсунок для розпилення рідини та системи яка контролює низку параметрів. Система аеропоніки дозволяє з легкістю інтегрувати в себе новітні технології моніторингу та керування, що дозволить чітко контролювати подачу живильного розчину, температуру в камері біля коріння та освітлення, для максимальної якості та оптимального росту рослин. Завдяки зворотній подачі розчину, який стікає з коренів, така система економно використовує водні та

енергетичні ресурси. Для реалізації цього методу, рослину закріплюють так, щоб коріння було на деякій відстані від розпилювача, але і відокремлена від верхньої частини рослини. [13]

Розчин до коренів подається безперервно, або за таймером, в залежності від виду рослини. Основним недоліком такого способу є засмічення форсунок, тому їх потрібно часто прочищати, або встановлювати додаткові фільтри для живильного розчину, для унеможливлення попадання небажаних часточок.

1.4 Техніка з використанням субстрату. В цьому способі субстрат виступає в ролі утримувача вологи, та опора для коріння рослини. Субстрат для вирощування повинен бути легким та дренажним, наприклад: кокосова кора, перліт, вермикуліт, мох або килимок з льону. Головною умовою є відсутність шкідливих мікроорганізмів, які можуть нашкодити рослинам.

Перед використанням субстрат повинен бути оброблений термічним або іншими способами, для уникнення хвороб та появи шкідників. Для вирощування використовують пласкі посудини або лотки, які мають невеликі отвори на дні для відведення надлишкової вологи. Спеціальне, необроблене насіння розсипають на субстрат, та прижимають, для того щоб насіння пустило коріння та закріпилося в субстраті. Насіння помірно зволожують, та після проростання починають освітлювати рослини. [6]

Важливо підтримувати температуру та вологість для правильного та швидкого росту мікрозелені. Збирають врожай мікрозелені приблизно через 7-14 днів, в залежності від умов та виду рослини. Цей метод дуже популярний серед звичайних фермерів та домогосподарок, оскільки його легко можна відтворити навіть на підвіконні, де в якості освітлення буде виступати звичайне природне освітлення від сонця, а в разі його недостатці можна досвічувати фітолампами.

1.5 Користь мікрозелені. Мікрозелень являє собою молоді сільськогосподарські рослини, які виростають з насіння, і мають вік від 3 до 21 дня після сходу.

Вони мають не лише красивий вигляд та насичений смак, але й містять велику частину корисних речовин, які у декілька раз перевищують концентрацію ніж уже у дорослій рослині. Вони включають в себе вітаміни, мінерали, антиоксиданти, багаті на вітамін С, вітамін К, бета-каротин, кальцій та залізо. Кожен з видів мікрозелені має свій неповторний смак та аромат, що робить її гарним додатком до різних страв.

Зараз мікрозелень являється доступною альтернативою свіжим овочам, особливо в холодні пори року, оскільки її можна без проблем виростити у себе в кімнаті, без великого досвіду та наявності великих площей для вирощування.

1.6 Переваги автоматизованої теплиці дистанційного керування для вирощування мікрозелені.

Автоматизовані теплиці для вирощування мікрозелені мають суттєві переваги перед традиційним вирощуванням рослин, а система віддаленого керування дозволить не перейматися про стан теплиці, якщо ви знаходитесь далеко від неї. Система дистанційного керування дозволяє моніторити та керувати всіма важливими параметрами. Оператор може в режимі реального часу спостерігати за зміною параметрів та контролювати ці параметри з будь якого місця, використовуючи свій смартфон або ж ноутбук. Автоматизована

система контролю параметрів теплиці використовує сучасні методи та способи регулювання цих параметрів, що в свою чергу дозволяє економно використовувати енергетичні ресурси та точно регулювати споживання води та енергії.

Система автоматично виконує полив, рівень Рн в живильному розчині, регуляцію освітлення, вологи та температури. Точне регулювання всіх цих параметрів дозволяє збільшити врожайність та якість рослин та зменшити ризик виникнення хвороб та шкідників. В свою чергу це дозволить збільшити оборот врожаю, завдяки швидкому росту рослин.

Автоматизована теплиця дозволяє зменшити вплив людського фактору на виробництво. Для догляду та вирощування достатньо однієї людини, яка буде наповнювати баки для живильного розчину та прибирати аварійні ситуації.

1.7 Недоліки використання автоматизованої теплиці для вирощування мікрозелені.

Незважаючи на суттєві переваги, автоматизовані теплиці для вирощування мікрозелені мають низку своїх недоліків. Із основних мінусів це висока собівартість таких установок. Для закупки та установки автоматизованої теплиці потрібно великих стартових вкладень, оскільки обладнання коштує доволі дорого.

Через велику кількість технічних компонентів, автоматизовані теплиці складні в налаштуванні та потребують знань для правильної експлуатації. Все обладнання залежить від електропостачання. Для ефективного використання автоматизованою теплицею потрібно встановлювати безперебійне живлення та методи альтернативного отримання енергії такі як сонячні панелі, але вони доволі дорого коштують та для них потрібні великі та дорогі акумулятори, які будуть живити установку в нічний час. Навіть невеликі по часу перерви в постачанні електроенергії можуть вплинути на

якість врожаю, або взагалі зіпсувати його, а це в свою чергу збільшує час окупності установки та тягне за собою додаткові витрати.

Постійна потреба в підтримці. Для обслуговування автоматизованої теплиці потрібна людина, яка буде знати які процеси відбуваються в установці, та вміти лагодити будь які поломки. В свою чергу, людина яка буде обслуговувати установку повинна знати не лише основи автоматизації, але й мати розуміння сільського господарства. Також робота з автоматизованою теплицею вимагає дисципліни та відповідальності, оскільки потрібно постійно моніторити важливі параметри та проводити звітність. Враховуючи ці параметри відбору персоналу, компанії, які займаються вирощуванням мікрозелені, повинні проводити навчання та підвищення кваліфікації спеціалістів, які можуть впровадити нові методи та способи в автоматизовані системи.

- **Основні параметри та види теплиць. Огляд існуючих теплиць для вирощування мікрозелені**

Автоматизована теплиця являє собою промислову споруду, зі своєю екосистемою, яка відокремлена від зовнішнього середовища. Така теплиця здатна забезпечити великим врожаєм, незалежно від пори року та погодних умов адже в середині теплиці підтримується оптимальна температура та вологість повітря.

2.1 Основні системи «розумної теплиці». Правильне регулювання параметрів життєдіяльності теплиці, це основа гарного та якісного врожаю. Вентиляція, опалення та регулювання вологості, разом з іншими системами повинні створювати в теплиці правильний мікроклімат, для вирощування

бажаних культур. Система опалення та вентиляції, повинні забезпечити правильний розподіл повітряних мас, відповідно технологічних норм. Температура повітря не повинна різко збільшуватись або зменшуватись, а повинна правильно поступово змінюватись, в залежності від фази росту рослин та способу вирощування.

Основа будь-якої теплиці – це каркас. Він буває з металічних конструкцій, металопластикових або дерев'яних. При проектуванні теплиці, потрібно вивчити погодні умови у вашій місцевості в різні пори року, нахил ділянки, які проведені комунікації тощо. Все це напряду буде впливати на кошти, які потрібно виділити на проектування та створення теплиці. Також теплиці бувають різні за будовою: аркові, одно або двосхилі прямокутні, багатокутні та кулеподібні. Кожна з цих теплиць має свої недоліки і переваги, але для вирощування мікрозелені доцільніше буде використовувати арочну теплицю.

Останнім часом набирає популярності вирощування мікрозелені у великих кімнатах, які перед цим спеціально обладнують системами для вирощування, стелажми тощо. Вони набагато простіші у використанні та легше обігрівати та підтримувати задану температуру, оскільки стіни та стеля краще зберігають тепло.

Автоматизовані установки для вирощування мікрозелені в приміщеннях мають багато переваг, перед звичайними теплицями. Таке вирощування дозволяє максимізувати виробництво мікрозелені на обмеженій площі, що робить виробництво більш ефективним. Також такі системи більш ефективно використовують енергоресурси, та захищають рослини від зовнішніх факторів. Такі теплиці дозволяють точно керувати рівнем CO₂, вологою та температурою, а мікрозелень можна вирощувати на вертикальних стендах в декілька ярусів, що значно економить простір. Вирощування в

приміщеннях дозволяє досягти максимального врожаю на одиницю площі, значно пришвидшити цикл росту рослин та забезпечити стабільне вирощування мікрозелені цілий рік.

2.2 Огляд існуючих установок для вирощування мікрозелені.

Існують багато видів автоматизованих установок, які відрізняються розміром, продуктивністю, способом вирощування та складністю. Перед покупкою або установкою автоматизованої установки потрібно чітко розуміти свої цілі та потреби.

Для найпростішого домашнього використання може підійти невелика установка зі змінними килимками, які відразу йдуть з потрібним насінням. Правильна форма та матеріал лотка дозволяє рівномірно розподіляти та зберігати вологу для проростання та росту бажаної рослини.

Для початку вирощування достатньо лише помістити спеціальний килимок на місце, та добре полити, для того щоб рослини почали проростати. Горщик виконаний із екологічних матеріалів, білий матеріал це гіпс, і в середині покритий бджолиним воском, що дозволяє зробити вирощування мікрозелені максимально екологічним та вигідним. Мінусом даного способі вирощування є залежність від освітлення надворі, оскільки установка розрахована на розміщення на підвіконні та отриманні світла ззовні.

Набагато досконалішою установкою за попередню буде автоматизована гідропонна установка для домашнього використання – “Smart Garden”.

Smart garden являє собою інноваційну гідропонну установку, яка може вирощувати не лише мікрозелень, а й інші рослини такі як помідори, перець, салат. В цій системі скомбіновано спеціальні технології автоматизації, які

дозволяють створити ідеальні умови для росту рослин в домашніх умовах майже без догляду за ними.

Рослини виростають в спеціальних капсулах, які поміщають в контейнер, завдяки цьому рослина росте без ґрунту, але з доступом всіх поживних речовин до коренів. Освітлюється установка спеціальними LED – світильниками, які можуть бути налаштовані під певний спектр, щоб надати рослинам правильне освітлення в залежності від стадії їх росту. В системі реалізований автоматичний полив, який подає необхідну кількість води з поживними речовинами прямо до коріння. Також система Smart Garden має додаток у смартфоні, який дозволяє зручно віддалено моніторити та керувати системою. Додаток може сповістити Вас про стан рослин, які саме рослини на якому місці ростуть та в якому періоді росту знаходяться. Завдяки правильній автоматизації ця система дозволяє отримувати врожай в будь яку пору року, приклавши мінімальних зусиль, при цьому отримуючи якісний врожай в мінімальні строки.

Для вирощування продукції на продаж, буде доцільно придбати вже готову гідропонну установку для вирощування мікрозелені HydroBoss 5.0, або схожу. Особливість цієї установки, в тому що вона має 5 ярусів для розміщення піддонів із рослинами. [7]

Дана установка дозволяє автоматично підтримувати задану вологість субстрату та регулювати освітлення. Працює гідропонна установка на методі періодичного підтоплення, тому лотки з мікрозеленню повинні бути з отворами для проходження живильного розчину. Вся автоматика захована за декоративною панеллю, що дозволяє уникнути потрапляння і пошкодження виконавчих механізмів. Установка має блок автоматики з модулем вайфай, що дозволяє керувати установкою через смартфон. На кожному рівні встановлено лампи потужністю 18 ват, що дозволить забезпечити

освітленням навіть світлолюбиві рослини. Також установка оснащена системою зливу та переливу, що дозволить регулювати рівень затоплення.

- **Розробка системи автоматичного дистанційного керування теплицею з вирощування мікрозелені.**

3.1 Розробка автоматичної системи керування

Однією із найголовніших задач теплиці для вирощування зелені є – підтримання важливих параметрів для швидкого та безпечного росту мікрозелені. Розробка САК являється важливим процесом, який дозволяє ефективно регулювати та керувати усіма аспектами господарства, де використовуються сучасні технології. Для розробки правильної системи потрібно визначити потреби та вимоги до системи. Специфіку системи, тобто вимоги до вирощування бажаних рослин, параметри середовища та інші важливі параметри.

Для налагодження правильної роботи САК потрібно розробити програмне забезпечення, веб інтерфейс, систему збору параметрів з датчиків та автоматизувати алгоритми керування середовищами. Для безперебійного і точного регулювання важливо підібрати сумісні виконавчі механізми такі як датчики, контролери, двигуни та насоси, від того наскільки ці механізми будуть надійні та тоні, залежить точність та надійність автоматичної системи керування.

Головні параметри, які повинна регулювати САК:

Тепло – являється важливим параметром, оскільки не повинно бути різких перепадів температури, оскільки це може зашкодити молодим рослинам.

Волога повітря – окрім отримання поживних речовин через коріння, рослини здатні поглинати вологу через листя, що дозволить збільшити якість та кількість врожаю.

Подача та приготування живильного розчину – живильний розчин для окремих рослин має бути спеціально приготований, і мати певний рівень рН. В свою чергу розчин, який подається має бути правильної температури

Для точного контролю всіх цих параметрів, потрібно створити автоматизовану систему керування. Структурна схема САУ виглядає наступним чином:

Під час роботи САК, виникають збурення, спричинені зовнішніми факторами, через це порушуються режими роботи теплиці. Головна задача САК це зменшити або взагалі не допустити змін в роботі автоматизованої системи.

В системі керування відбувається по заданим законам зміни вихідних параметрів в залежності від вхідних. Система автоматизації описується диференційними рівняннями, і являється взаємодією між об'єктом керування та виконавчими механізмами.

Функціональна схема автоматизації теплиці виглядає наступним чином:

3.2 Розрахунок математичної моделі.

3.2.1 Регулювання температури повітря

Один із найважливіших контурів регулювання теплиці – це температура повітря. Температура являється важливим параметром, оскільки мікрозелень різко реагує навіть на найменші зміни параметру. Для контролю температури, в контролері виставляється значення, згідно потрібної температури для вирощуваної рослини. Для вимірювання температури використовується спеціальний датчик, який надсилає дані на контролер, який в свою чергу керує виконавчим механізмом – нагрівачем повітря. Саме мікроконтролер визначає скільки потужності потрібно подати на нагрівач, щоб температура плавно регулювалась, без різких перепадів.

Рівняння зміни температури повітря:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P - k(T - T_{ext})}{m \cdot c}$$

де P – потужність нагрівача.

Рівняння теплового балансу:

$$Q_{in} - Q_{out} = m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt}$$

Де Q_{in} - це теплота, отримана теплицею за проміжок часу dt

Q_{out} – це теплота, що втрачається за проміжок часу dt .

Тоді виходить рівняння::

в якому c – середня теплоємність в середині теплиці.

m – маса всіх складових

dT – зміна температури в середині теплиці за час dt

k – коефіцієнт обміну теплом з навколишнім середовищем

T_{ext} – температура ззовні теплиці.

Після перетворення рівняння має вигляд:

Далі рівняння переводимо в зручне для роботи з ним, вводимо такі поняття, для отримання передавальної функції:

$u = P$ – керуючий вплив на вході,

$y = T - T_{сер}$ – вихідний сигнал,

- коефіцієнт підсилення,

– стала часу,

Після підстановки у рівняння отримуємо наступне:

;

;

;

;

За допомогою рівняння Лапласа , записуємо рівняння у такій формі:

Отримуємо передавальну функцію $W(s)$. Підставляємо всі відомі нам значення.

Тепер потрібно дізнатися теплоємність:

Далі можна розрахувати сталу часу:

Коефіцієнт теплообміну 1 , тоді , а коефіцієнт підсилення 1 , тоді передаточна функція буде мати вигляд:

3.2.2. Регулювання вологи теплиці

Регулювання рівня вологи в повітрі, має важливе значення для вирощування мікрозелені. Правильний рівень вологи в повітрі сприяє оптимальним умовам для росту рослин, їх здоровому росту та розвитку. Точне та систематичне регулювання вологою допоможе досягнути оптимальних параметрів вирощування мікрозелені та інших культур.

Для розуміння, створимо математичну модель системи. приміщення де буде регулюватися волога, може бути описане диференціальним рівнянням першого порядку:

Де T_a - час розгону;

F_d - коефіцієнт самовирівнювання;

- відносна величина регулюючого параметру;

– відносна величина збурюючого впливу.

Для складання аналітичної моделі, нам потрібно порівняти параметри диференціального рівняння.

Далі розраховуємо чисельні значення коефіцієнтів для рівняння.

Із врахуванням обчислених значень, маємо балансове рівняння:

Після вирішення отримуємо $H = 0,91\text{м}$. При цьому розхід рідини Q_0 буде дорівнювати:

Початкова вологість H_0 буде дорівнювати різності між потрібним значенням вологи H і поточним $H_{P2,H}$:

Площа теплиці:

Об'єм рідини акумульований в резервуарі:

Час розгону виходить:

Визначимо коефіцієнти самовирівнювання зі сторони притоку рідини та відтоку. Перепишемо рівняння притоку і відтоку:

;

;

Підставивши значення в формули отримаємо наступне:

;

.

Звідси й знайдемо значення коефіцієнту самовирівнювання:

,

Коефіцієнт дорівнює:

Диференціальне рівняння буде мати вигляд:

Де (t) – відносне збудження

;

– відносне відхилення;

.

Поточне значення рівня рідини в резервуарі буде:

.

В аналітичному вигляді:

Після математичних перетворень отримаємо передатну функцію об'єкту регулювання:

3.2.3 Подача рідини в автоматичну теплицю

Найважливіший елемент у вирощуванні мікрозелені – це подача живильного безпосередньо до коріння рослин. Подача розчину повинна відбуватися безперервно, або по таймеру, рівномірним, не сильним але й не слабким потоком, щоб коріння було занурено в живильний розчин, та рослина була забезпечена безперервним отриманням вологи. Для вирощування мікрозелені за допомогою аеропоніки використовують спеціальні насоси високого тиску.

Створимо математичну модель системи подачі живильного розчину:

Зобразимо формулу зміни тиску в системі:

$$-dW_{1,2} = -dH S_{1,2}$$

де μ – коефіцієнт витрати розчину;

ω – площа поперечного перерізу труби подачі розчину;

$S_{1,2}$ – середня площа поперечного перерізу.

Рівняння балансу для ємності виглядає наступним чином:

Рівняння об'єму води, яка надходить в ємність:

де a – коефіцієнт швидкості зміни рівня живильного розчину,

z_m – мінімальний рівень рідини.

Коефіцієнт підсилення дорівнює 0,4.

Після математичних перетворень отримуємо передаточну функцію:

3.3 Моделювання.

Для моделювання системи регулювання важливих параметрів використаємо середовище Simulink.

Контури регулювання виглядають наступним чином:

Далі налаштовуємо окремо кожен регулятор для окремого контуру. Для контуру регулювання температури перехідна характеристика, налаштована на мінімальний перехідний процес буде виглядати наступним чином:

Для інших контурів налаштування відбувається таким же чином. Перехідний процес регулювання вологи повітря виглядає наступним чином:

- **Підбір засобів автоматизації**

4.1 Arduino Uno

Щоб правильно автоматизувати процес вирощування мікрозелені з дистанційним управлінням в теплиці, потрібно правильно підібрати та налаштувати обладнання, при воно повинно бути сумісним між собою, для правильної роботи. В якості «мізків» теплиці з дистанційним керуванням будемо використовувати Arduino Uno з встановленим мікропроцесором ATmega328.[3]

Arduino Uno має 14 цифрових входів, 6 аналогових виходів, роз'єм USB. Завдяки простоті роботи з цією платформою можна з мінімальними знаннями запрограмувати та реалізувати управління всіма параметрами та моніторинг теплиці через дистанційне управління. Мікроконтролер може бути запрограмований із режимом сну, для того щоб зменшити споживання електричного струму, це допоможе в разі збільшити час автономної роботи, особливо під час роботи від резервного джерела струму.

4.2 NRF24L01

Для реалізації управління теплицею віддалено, обов'язково потрібно забезпечити платформу виходом в інтернет. Для виходу в інтернет будемо використовувати модуль NRF24L01

Цей радіо модуль створений як для зв'язку декількох мікроконтролерів між собою, так і для виходу контролера в інтернет. Модуль працює на частоті 2.4 ГГц, має швидкість до 2 Мбіт, керується за допомогою SPI, напруга

живлення 3.3в, що дозволяє живити його напряму від плати Arduino. Має вбудовану антену та стабілізатор напруги. [16]

Схема обміну даними з Arduino через інтернет:

Щоб теплиця завжди було доступна, вона повинна постійно обмінюватися пакетами. Але через часті запити сервер може перевантажуватися і уповільнювати свою роботу. Також до мінусів відноситься збільшене енергоспоживання, особливо при дуже частих запитах, тому потрібно вибирати частоту яка буде мінімально навантажувати сервер та дозволить отримувати дані з максимальною швидкістю і мінімальною затримкою. Також щоб зробити теплицю дешевшою, є можливість в якості серверу використовувати саму платформу Arduino, але це буде доволі обмежений сервер в своїй пропускній можливості, тому такий варіант підійде для нескладних проектів.

4.3 Серводвигун MG995 Tower Pro.

Для управління заслінкою вентиляції будемо використовувати потужний серводвигун MG995 Tower Pro.

Серводвигун обладнаний металевою зубчатою передачею, що дозволяє збільшити допустиме навантаження та строк служби.

Характеристики серводвигуна:

- напруга живлення 4.8 – 7.8 В;
- сила – 13 кг/см;
- кут повороту 180*;
- розміри 40x19x43.

Цей серводвигун доволі популярний, оскільки має малі розміри, потужний, якісний та дешевий. Він має просте підключення до платформи Arduino, та легко керується.

4.4 DHT22.

Щоб точно вимірювати вологість та температуру в теплиці, на кожному ярусі розмістимо давач DHT22.

Давач DHT22 має заводську каліброву, та низьке енергоспоживання, що дозволяє точно вимірювати вологу і температуру. Напруга живлення 3.6 – 6 вольт, а діапазон температури від -40 до 80 градусів. Точність вимірів +/- 0.5 градусів.

4.5 Датчик рівня рН

Для точного вимірювання рівня рН живильного розчину будемо використовувати аналоговий давач для Arduino.

Датчик розроблений спеціально для Arduino, тому має просте підключення і зрозуміле управління. Для забезпечення точних вимірювань давач потрібно раз в пів року калібрувати.

Характеристики давача:

- час відгуку: 5с;
- напруга живлення 5 В;
- діапазон робочих температур 10* – 50*.

4.6 T1592

Для контролю рівня живильного розчину в ємності, будемо використовувати датчик рівня води T1592:

Датчик має вихідний аналоговий сигнал, споживання струму менше 20 мА та напругу живлення 3-5 В. Робоча температура давача від 10 до 30 градусів. Датчик має просте підключення та не складний в роботі.[4]

4.7 SSR – 40

Для безконтактної комутації двигунів, нагрівальних елементів, та інших виконавчих механізмів, які споживають великий струм будемо використовувати твердотільне реле SSR-40. Щоб реле спрацювало достатньо напруги 2.4 вольта, чого буде достатньо для роботи з платформою Arduino. [15]

4.8 Схема підключення.

Всі модулі доволі легко комутуються між собою, тому зібрати робочу схему не створить великих проблем. Нижче наведено схему підключення теплиці дистанційного керування для вирощування мікрозелені.

ВИСНОВОК

В ході виконання дипломної роботи було розглянуто найбільш популярні способи вирощування мікрозелені, принципи вирощування та способи автоматизації об'єкту. Було створено математичну модель теплиці з вирощування мікрозелені, підібрано та налаштовано PID регулятори, для

більш ефективного використання енергії. Також було підібрано виконавчі механізми, які допоможуть створити систему віддаленого керування теплицею.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- "Using LED Lights for Greenhouse Lighting: Reality and Perspectives" STA - PRESS, 2015
- "Automated Hydroponics! " - <https://levelup.gitconnected.com/automated-hydroponics-9aa697552b9d>
- "Arduino Uno" – <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
- "Датчик рівня води для Arduino" – <https://freebuy.in.ua/ua/p983551851-datchik-urovnya-vody.html>
- "Hydroponic Systems With Raspberry Pi and Arduino"- <https://www.makeuseof.com/hydroponic-systems-with-raspberry-pi-and-arduino/>
- Субстратні та гідропонні системи – <https://www.yara.ua/crop-nutrition/soft-fruits/soft-fruits-key-facts/substrate-and-hydroponic/>
- Гідропонна установка для вирощування рослин – https://green-chief.com.ua/ru/gidroponnaya-ustanovka-avtopoliva-dlya-vyrashchivaniya-rasteniy-zelenyy-shef.-sdelay-sam-na-5-polok/?gclid=CjwKCAiAhKycBhAQEiwAgf19eiXz5pdRQoW5IrhIWPn9Sxvw18S7BKWfXhTPyzJNVIEqnlJJBk2qXR0C4GcQAvD_BwE
- "Commercial Aeroponics: The Grow Anywhere Story". In Vitro Report. Research News. The Society for In Vitro Biology (44.2). 2008.

- Вирощування мікрозелені як бізнес – <https://semena.cc/blog/microgreen/vyrashhivanie-mikrozeleni-kak-biznes/>
- Гідропоніка – <https://shop.floragrowing.com/ua/a360402-gidroponika.html>
- Automation and Robotics Used in Hydroponic System - <https://www.intechopen.com/chapters/70662>
- Гідропонна установка своїми руками – <https://valest.com.ua/gidroponna-ustanovka-svoimi-rukami-jak-zrobiti/>
- "Гідропоніка – минуле, сучасність і майбутнє" – <https://gma.khmnu.edu.ua/hidroponika/>
- Спосіб вирощування зелених культур методом проточно-підтоплюючої гідропоніки - <https://uapatents.com/7-119940-sposib-viroshhuvannya-zelenikh-kultur-metodom-protochno-pidtoplyuyucho-gidroponiki.html>
- Однофазне твердотільне реле SSR – 40 https://fd24.com.ua/ua/p1044868754-odnofaznoe-tverdotelnoe-rele.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAo7KqBhDhARIsAKhZ4ugR4Z5_cc4SbpN5uKCh-stn416o82bh04ZMvaSSccWPDst1Oe8gPIEaAkqPEALw_wcB
- Радіо модуль NRF24L01: <https://arduino.ua/prod231-radiomodyl-nrf24l01-2-4-ggc>