

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв

_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Оптимізація подачі живильного розчину в автоматизовану гідропонну установку для
вирощування мікрозелені»

Керівник роботи

Доцент, к.ф.-м.н.

Журба В.О.

Дипломник

студент гр. СУ.м-11

Соляник А.А.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв

_____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту
Солянику Артему Андрійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Оптимізація подачі живильного розчину в автоматизовану гідропонну установку для вирощування мікрозелені.
2. затверджена наказом ректора СумДУ № 1027 -VI від " 7 " листопада 2022 р.
3. Термін здачі студентом закінченої роботи " 21 " грудня 2022 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, технічна документація та перелік літературних джерел.
5. Зміст кваліфікаційної роботи : огляд існуючих гідропонних систем і способів вирощування мікрозелені, переваги та недоліки гідропонного вирощування, автоматизована гідропонна установка, система керування автоматизованою гідропонною установкою, апаратні засоби автоматизації гідропонної установки.
6. Перелік графічних матеріалів: 27 рисунків, 1 додаток, 6 схем.

7. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Огляд літератури.	07.11.2022 – 08.11.2022
2	Розгляд існуючих систем гідропонного вирощування мікрозелені.	09.11.2022 – 15.11.2022
3	Створення математичних моделей контурів регулювання гідропонної установки.	16.11.2022 – 22.11.2022
4	Створення регуляторів для системи автоматизації гідропонної установки.	23.11.2022 – 26.11.2022
5	Розроблення схем автоматизації.	27.11.2022 – 28.11.2022
6	Оформлення дипломної роботи та документації.	28.11.2022 – 21.12.2022

8. Дата видачі завдання " 07 " листопада 2022 р.

Керівник проекту:

Доцент, к.ф.-м.н.

(підпис)

Журба В.О

До виконання прийняв:

студент гр. Су.м - 11

(підпис)

Соляник А.А.

РЕФЕРАТ

Соляник Артем Андрійович. Оптимізація подачі живильного розчину в автоматизовану гідропонну установку для вирощування мікрозелені. Дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2022 р.

Робота містить: 37 сторінок, 27 рисунків, 1 додаток, 6 схем. При виконанні було використано 17 літературних джерел.

Об'єктом дослідження виступає автоматизована гідропонна установка, предметом дослідження являється – оптимізація подачі живильного розчину для економії використання енергії та води.

Було розглянуто існуючі автоматизовані гідропонні установки та обрано об'єкт автоматизації. Визначено контури керування та створено математичні моделі, для дослідження параметрів автоматичної системи. Розроблено систему регулювання рівнем рідини, температурою живильного розчину та подачі розчину в гідропонну установку. На основі математичних моделей визначено параметри PID та PI регуляторів.

Ключові слова: автоматизація, система керування, гідропоніка, гроубокс, оптимізація, мікрозелень.

ABSTRACT

Artem Andriyovych Solyanik. Optimizing the supply of nutrient solution to an automated hydroponic plant for growing microgreens. Graduate work. Sumy State University. Sumy, 2022
The work contains: 37 pages, 27 figures, 1 appendix, 6 diagrams. 17 literary sources were used in the performance.

The object of the research is an automated hydroponic installation, the subject of the research is the optimization of nutrient solution supply to save energy and water use.

Existing automated hydroponic installations were reviewed and an automation facility was selected.

The control contours were determined and mathematical models were created to study the parameters of the automatic system. A system for regulating the liquid level, the temperature of the nutrient solution and the supply of the solution to the hydroponic plant has been developed. The parameters of the PID controller are determined on the basis of mathematical models.

Keywords: automation, control system, hydroponics, growbox, optimization, microgreens.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ МЕТОДОМ ГІДРОПОНІКИ	7
1.1 Актуальність та область застосування	7
1.2 Відмінність гідропонної установки від гроубокса	8
1.3 Користь мікрозелені	9
1.4 Раціональне використання води	9
1.5 Зменшення використання енергетичних ресурсів	9
1.6 Переваги автоматизованої вертикальної ферми	10
1.7 Недоліки гідропонної установки	11
2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТИПІВ ГІДРОПОННИХ СИСТЕМ	12
2.1 Основні види гідропонних систем	12
2.1.1 Техніка живильної плівки.	12
2.1.2 Глибинний потік (DFT)	14
2.1.3 Аеропонна техніка	15
2.1.4 Техніка з використанням субстрату.	16
2.2 Гідропонні системи представлені на ринку	16
3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМУВАННЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МІКРОЗЕЛЕНІ ТА ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ	18
3.1 Розробка САК	18
3.2 Контроль температури живильного розчину	20
3.3 Контроль рівня рідини	23
3.4 Контроль подачі рідини в ГУ	27
4. Апаратні засоби автоматизації гідропонної установки	29
Висновки	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

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

Гідропоніка – це спосіб вирощування рослин без використання землі. Вона дозволяє штучно створювати клімат, що дозволяє вирощувати рослини незалежно від пори року та погоди. Останнім часом набирають популярності автоматизовані гідропонні системи, які дозволяють з мінімальним втручанням людини вирощувати свіжу й поживну мікрозелень набагато швидше та економніше ніж звичайним методом. Перевагою гідропонних установок, є те, що їх можна використовувати навіть у засушливих регіонах де доступ до питної води обмежений.

Мета даної роботи оптимізувати подачу живильного розчину в гідропонні установки, що дозволить значно економити енергію та воду. В залежності від етапу росту, рослина споживає різну кількість рідини, що дає нам змогу відстежувати та регулювати процеси подачі живильного розчину. Кожен, навіть невеликий спосіб економії, значною мірою здешевлює вирощування мікрозелені, та дозволяє швидке окупити автоматизовану гідропонну установку, яка коштує не дешево.

1. ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ МЕТОДОМ ГІДРОПОНІКИ

1.1 Актуальність та область застосування

Вода являється джерелом всього живого на нашій планеті, без води неможлив існування жодного організму. З давніх часів існує дефіцит прісної води, оскільки вона займає всього 3% з усього обсягу води на Землі. З кожним роком споживання прісної води збільшується, що створює воду як стратегічно важливий ресурс. Основним споживачем прісної води є сільське господарство, оскільки для виробництва рослинної їжі потрібно майже 85% від усього об'єму прісної води. Через низку цих факторів стрімко зростає інтерес до гідропоніки.

Гідропоніка – це спосіб вирощування рослин без використання ґрунту, рослини живляться розчином в якому знаходяться їх коріння. Середовище в якому проходить вирощування, вирощування відбувається в сильно аерованому водному середовищі або ж в середовищі з твердого пористого субстрату, що дозволяє корінню дихати, але потребує частого або постійного поливу спеціальним живильним розчином. За допомогою гідропоніки вирощують багато видів овочів, фруктів мікрозелені та навіть їстівних квітів. Цей спосіб не новий, вчені вже більше століття досліджують цей спосіб вирощування рослин, але популярність гідропоніка здобула відносно недавно. [1]

Гідропонна установка – це обладнання, яке необхідне для вирощування рослин без використання землі. Основні задачі цієї установки це утримання вологи, аерація, подача живильного розчину та контроль її хімічного складу, а також низка інших завдань які змінюються в залежності від вирощуваної культури. Найчастіше такі установки використовують для вирощування зелені, або салатів, рідше інших культур, оскільки вони дозволяють з мінімальним втручанням людини отримати максимальний об'єм врожаю за максимально короткі проміжки часу. Завдяки підтримці температурних режимів і певного мікроклімату, всередині ферми, вирощувана культура може давати врожай цілий рік, не звертаючи уваги на погоду та пору року за вікном. Особливо добре така вертикальна ферма може себе зарекомендувати в жарких регіонах, або пустельних країнах, де вирощування рослин традиційним методом неможливе. Після встановлення сонячних панелей та акумуляторів, така ферма стає повністю незалежна від електроенергії.

1.2 Відмінність гідропонної установки від гроубокса

Гідропонна установка і гроубокс це трішки різні речі. Гроубокс це ізольований від зовнішнього середовища простір, в якому знаходяться вирощувані культури. Гроубокс потрібен коли в приміщенні неможливо створити мікроклімат для певних культур, або щоб уникнути близький контакт деяких видів рослин між собою.



Рисунок 1. Гроубокс

Гроубокс має жорсткий каркас, поверх якого натягнутий спеціальний матеріал, що не пропускає вологу та має отвори для підключення кліматичного обладнання. В основному гроубокси використовують для вирощування найвибагливіших рослин. Гідропонна установка в свою чергу, створена для великих посівних площ, оскільки там використовується багатоярусна конструкція для вирощування не дуже вибагливих рослин.



Рисунок 2. Гідропонна установка.

1.3 Користь мікрозелені

Останнім часом продукти вирощені без використання будь – якої хімії набирають велику популярність, у зв'язку з тим що вони не несуть загрози для здоров'я людини, а собівартість продуктів вирощених в гідропонних установках в рази менше за ті продукти, що вирощені звичним шляхом. Вертикальні ферми дозволяють повністю відмовитися від використання пестицидів, гербіцидів та різних добрив. Мікро зелень вирощена таким шляхом має імунітет до хвороб та шкідників, а відсутність ґрунту мінімізує шанс на появу додаткових проблем.

1.4 Раціональне використання води

В умовах де прісна вода в дефіциті , а вся питна вода йде на потреби населення, для сільського господарства, води взагалі не вистачає, оскільки полив рослин потребує дуже великої кількості води. В таких умовах найбільш оптимальний вибором буде вирощування рослин метою гідропоніки, оскільки ця закрита система дуже економно використовує воду, в десятки разів менше ніж традиційним шляхом, оскільки рослина бере стільки води або живильного розчину, скільки їй потрібно, а зайва волога не просто йде в землю, а повертається назад в ємність, де використовується повторно, така собі аналогія екосистеми. В деяких випадках існують варіанти для збору води з повітря, для ще більш економного використання.

1.5 Зменшення використання енергетичних ресурсів

Такі вертикальні ферми не потребують ні комбайнів ні тракторів, що уже дозволить економити на паливі та обслуговуванні техніки. Гідропонна ферма потребує лише декілька чоловік обслуговуючого персоналу, в деяких випадках однієї людини буде достатньо.



Рисунок 3 Приклад використання світлодіодних фітоламп

Готова продукція розвозиться в найближчі магазини або ресторани, що також дозволить економити на транспортних витратах. Для створення енергетично незалежних ферм їх оснащують сонячними та вітровими установками. Прозорі стіни вертикальної ферми дозволять максимально використовувати природне освітлення, а недостаток освітлення компенсують спеціальні фітолампи.[7]

1.6 Переваги автоматизованої вертикальної ферми

В гідропонній установці потрібно контролювати дуже велику кількість параметрів, звісно таку ферму на 100% автоматизувати не вийде але автоматизований контроль самих основних параметрів дозволить отримувати максимальний прибуток. Завдяки автоматизації звичних процесів відпадає потреба в цілодобовому контролі ферми, а відділ з лаборантами може замінити всього декілька давачів, які аналізують склад повітря та живильного розчину. Отримуючи дані з давачів можна ефективно контролювати подачу живильного розчину, підтримання температури, що дозволить ефективніше використовувати енергоресурси та дозволить власнику в максимально короткі терміни повернути вкладені гроші в автоматизацію. Наприклад для забезпечення необхідної концентрації поживних речовин в живильному розчині потрібно контролювати рівень рН та електричну провідність, з цією задачею впораються всього два давача, які зможуть вчасно та точно визначити вказані параметри і дати команду для мікроконтролера. Також для швидкого росту рослин, їх потрібно забезпечити високою концентрацією вуглекислого газу, але концентрація не повинна перевищувати норму, бо це може призвести до хвороб рослин, а також негативно позначитися на самопочутті обслуговуючого персоналу. Також основним пунктом автоматизації є боротьба із людськими помилками, оскільки у такій справі помилку відразу помітити буде складно, а наприклад, велика концентрація поживних речовин в розчині в майбутньому може відобразитися у зіпсованому врожаї або хворобах рослин. Нажаль люди завжди помиляються, що не можна сказати про автоматизовані системи, де все працює за алгоритмом. Великим плюсом в автоматизації це віддалене керування, коли ти можеш отримувати дані від ферми знаходячись далеко від неї, і знати які процеси зараз відбуваються. Персонал такої вертикальної ферми повинен лише саджати нові рослини, збирати урожай, змінювати бак з CO₂, доливати воду та усувати аварійні ситуації. В результаті дана система повинна мати блок, який буде сигналізувати про аварійні ситуації та попереджати про стан системи, саме для цього ферми обладнують wi-fi модулем. [12]

В наш час, в умовах росту цін на оренду приміщень і земельних ділянок, особливо важливим є ефективність використання приміщень. Особливо актуально використання таких ферм в ресторанах або магазинах, що дозволить завжди мати резерв свіжої зелені не витрачаючи на це багато грошей, часу та ресурсів.

Основна перевага автоматизованої гідропонної установки це дуже часті врожаї. В порівнянні із звичним методом вирощування, для деяких культур продуктивність виростає в 20 разів, при тому що якість врожаю набагато вище.



Рисунок 4 Приклад використання Гідропонної установки для прикрашання інтер'єру.

Також вирощування мікрозелені доволі не примхливе, і параметри між культурами для вдалого вирощування, схоже, що дозволяє дуже полегшити процес вирощування.

1.7 Недоліки гідропонної установки

Для створення автоматизованої гідропонної установки потрібні великі початкові гроші, щоб мати змогу створити таку ферму, яка зможе мати енергетичну незалежність, оскільки будь-які перебої зі світлом можуть нашкодити майбутньому врожаю.

Також на одному рівні з грошима стоять знання, оскільки при традиційному вирощуванні рослин не потрібно знати такий об'єм інформації як при вирощуванні на вертикальній фермі, знати як вирощувати ту чи іншу культуру буде мало, треба ще й вміти правильно підключити, запрограмувати та налаштувати обладнання, від конфігурації якого буде залежати ваш успіх та дохід

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТИПІВ ГІДРОПОННИХ СИСТЕМ

Гідропонна установка дозволяє майже повністю регулювати умови для вирощування рослин, повністю забезпечувати харчування рослин поживними елементами, а також одні із самих важливих параметрів це контроль температури повітря та вологість повітря. Створення максимально сприятливих умов для рослин дозволить отримувати врожай в максимально короткі терміни. Для створення сприятливих умов для рослин також потрібно підібрати максимально зручний та підходящий для вирощуваної культури спосіб подачі живильного розчину. Оскільки деякі культури мікрозелені, такі як сонях потребують дуже багато води, а деяким потрібне тимчасове затоплення кореневої системи.

Існує декілька видів гідропонних систем, вони бувають активні та пасивні, але частіше це просто різновид або комбінації декількох систем. В пасивних системах розчин поступає в коріння за допомогою капілярної сили, і з водою не здійснюється ніякого механічного впливу. Цей спосіб називається гнотовий і виділяється дешевизною та простотою.[12]

Активні системи вже вимагають тимчасової або постійної циркуляції живильного розчину за допомогою спеціальних насосів. Недолік таких систем в складності, у порівнянні з пасивними, та потребує аерації живильного розчину(насичення киснем).

2.1 Основні види гідропонних систем

2.1.1 Техніка живильної плівки. Для реалізації цього методу, який скорочено називається NFT(Nutrient film technique) використовують живильний розчин який постійно тече по петлі з резервуару, через лоток з мікрозеленню, де коріння повинне бути в підвішеному стані та поглинати поживні речовини з потоку води. Цей метод найкраще працює з рослинами які швидко зростають та мають неглибоке коріння. Обов'язково потрібно в резервуар з розчином додати аераційний борбатер, щоб насичувати розчин киснем.



Рисунок 5. Аераційний борбатер

Гравітація допомагає воді повертатися назад в резервуар, після чого цей самий розчин використовують повторно. На відміну від методів із затопленням, тут не потрібно таймерів,



Рисунок 6 Саморобна гідропонна установка з ПВХ труб

оскільки насос качає розчин по системі постійно. При бажанні людина може створити таку гідропонну установку у себе вдома використовуючи не дуже дорогі ПВХ труби.

Труби встановлюють під невеликим нахилом(приблизно 2%), розчин постійно подають в верхню частину щоб розчин стікав до низу. Шар живильного розчину в трубі повинен бути максимально тонким, і в залежності від культури ширина та висота жолобу підбирається так щоб коріння трішки лежало на нижній частині жолобу. [15]



Рисунок 7 Спосіб установки рослин

Витрати води при такому вирощуванні приблизно 3-8 л в годину для салату або гороху. Особливо важливо підтримувати постійний не дуже великий і не слабкий потік води, оскільки навіть короточасне пересихання може зіпсувати рослину. Спочатку рослини проростають, для того щоб сформувалася коренева система, потім уже поміщають у жолобки, а для кращого розподілення води по жолобку іноді підкладають тонкий шар тканини під рослини, або ж конструюють жолобок із труби.

2.1.2 Глибинний потік (DFT) . Одна з найстаріших методик для вирощування рослин це техніка глибинного потоку. Її використовували в садах Вавилону та на рисових плантаціях. В цій системі використовують великі діжки, в які налили живильний розчин. Глибина і висота ємності залежить від вирощуваної культури, оскільки чим більше коріння, тим вище потрібно ємність.



Рисунок 8 Реалізація методу глибинного потоку

DFT це один з найпоширеніших методів вирощування рослин, оскільки він дуже теплостійкий і недорогий в реалізації. Цю систему можна легко зібрати у себе дома, але через велику вагу, її неможливо встановлювати ярусами, і вона займає набагато більше місця чим, наприклад, техніка живильної плівки або аеропоніка. Також із мінусів цього способу, це неможливість збагачення коріння киснем, оскільки воно постійно знаходиться у воді.

2.1.3 Аеропонна техніка. Аеропоніка являється самим новим та самим ефективним методом вирощування. Цей метод використовується для вирощування лікарських рослин та деяких фруктів та овочів. Але через те що цей метод самий ефективний він являється і самим енерговитратним та складним. Суть цієї технології в тому що коріння знаходиться в повітрі, а форсунки постійно обприскують їх водою або спеціальним розчином. Через це потрібен потужний насос, для подачі розчину з великим тиском, а для того щоб форсунки не забивалися потрібні гарні фільтри, оскільки вихід із ладу форсунки грозить загибеллю рослини.

Зазвичай форсунки перед кожним посівом прочищаються, а іноді навіть встановлюють давачі, які сповістять про засмічення. Основний принцип аеропоніки це розпилення живильного розчину у закритих або напівзакритих середовищах.



Рисунок 9 Вирощування методом аеропоніки

Рослина закріплюється так, щоб коріння звисало у повітрі над розпилювачем, і було відокремлено від верхньої частини вирощуваної рослини. Такий спосіб дозволить уникнути шкідників та хвороб що пов'язані з ґрунтом або субстратом. Розчин подається до коріння безперервно або за таймером, так щоб коріння не встигало висихати. Додатковою перевагою такого вирощування це значна економія води та електроенергії.

2.1.4 Техніка з використанням субстрату. Особливість цього методу в тому, що коріння рослини знаходяться в нейтральному субстраті. Субстрат постійно або періодично зрошується живильним розчином. Основні і самі популярні види субстратів: керамзит, вермикуліт, мінеральна вата, пісок, гравій або кокосове волокно. Такі системи добре підходять для вирощування ягідних рослин, мікрозелені або виноградних культур. [9]

Ця система доволі проста, але потрібно постійно підтримувати заданий рівень вологи субстрату, також важливо щоб субстрат був стерильний, для зменшення ризику хвороби рослини.



Рисунок 10 Приклад вирощування мікрозелені на коврику

Субстратна техніка добре утримує вологу в кореневій системі рослини і збагачує коріння киснем.

2.2 Гідропонні системи представлені на ринку

Останнім часом набуває великої популярності міні - смарт гідропонні установки типу Click and Grow The Smart Garden.



Рисунок 11. Смарт ГУ.

Така ГУ може бути з легкістю встановлена у вас на підвіконні або столі, все що їй необхідно це наповнити спеціальну ємність водою та просто включити в розетку. Разом з цією установкою продаються спеціальні капсули з субстратом в якому знаходяться сімена рослини яка вам потрібна. Установка має своє спеціальне освітлення, та низьке споживання енергії, що робить її непоганим варіантом для дому, щоб завжди отримувати свіжу зелень вирощену самостійно.



Рисунок 12 Висаджування рослин в смарт ГУ

Для професійного вирощування мікрозелені використовуються установки набагато більшого масштабу, які дозволять вирощувати більше десяти видів культур одночасно.



Рисунок 13 Промислова ГУ

Така система працює на технології періодичного підтоплення. На кожен ярус встановлюються піддони з мікрозеленню, і починається процес вирощування. Блок автоматики ГУ обладнаний wi-fi модулем, що дозволить за допомогою смартфона збирати інформацію про стан установки. Кожен ярус має по 2 спеціальні фітолампи, потужністю по 18 ват. [10]

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМУВАННЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МІКРОЗЕЛЕНІ ТА ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ.

3.1 Розробка САК

Головною задачею ГУ є підтримання життєво важливих параметрів для рослин. Оптимальні умови для мікрозелені підтримуються шляхом моніторингу даних з датчиків та підтримування цих даних в заданих нормах. САК гідропонної установки допомагає контролювати всі важливі параметри, що дозволяє пришвидшити розвиток рослин та збільшити кількість та якість урожаю в рази.

Основні параметри які потрібно контролювати ГУ:

Освітлення – в ГУ майже немає освітлення окрім штучного яке утворюється завдяки спеціальним фітолампам, які працюють за таймером.

Тепло – один із самих важливих параметрів, оскільки навіть короткочасне перегрівання або переохолодження для може зруйнувати весь урожай мікрозелені.

Волога – оскільки система знаходиться в приміщенні, через що відсутні природні опади, тому вода або живильний розчин являється самим важливим параметром в якому відбувається вирощування рослин. Також потрібно постійно контролювати хімічний склад живильного розчину.[6]

Щоб ці всі параметри точно контролювати потрібно створити автоматизовану систему управління. Схема системи автоматичного керування виглядає наступним чином:

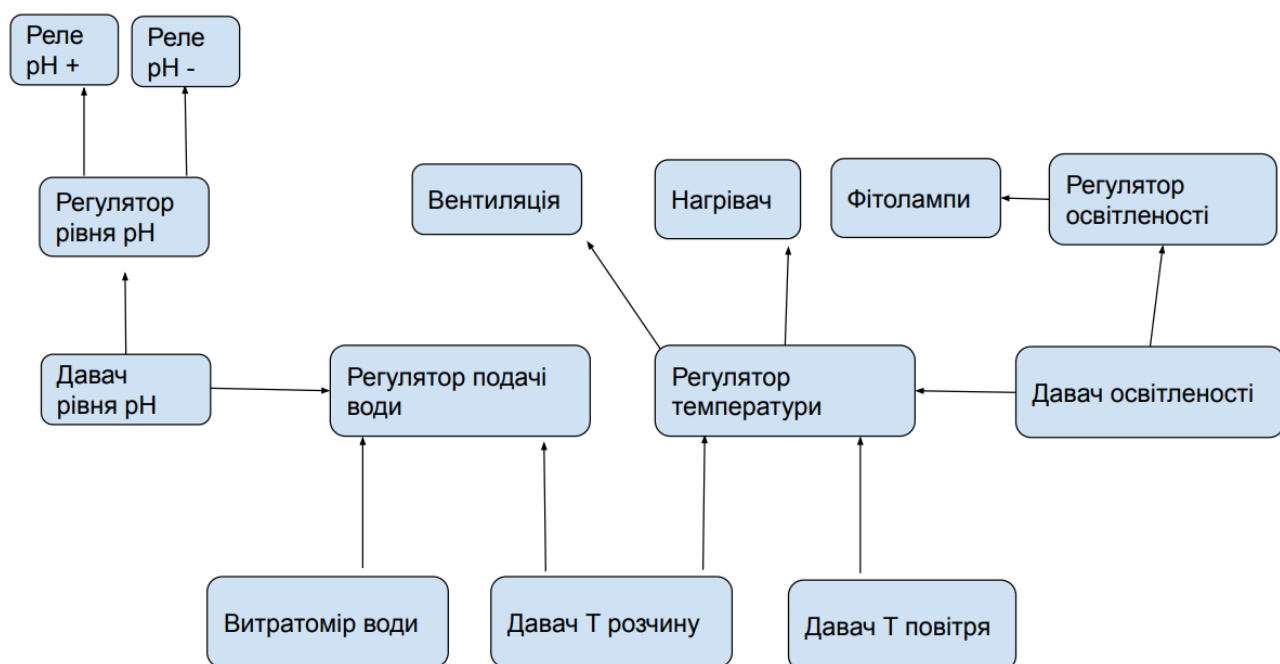


Рисунок 14 Схема САУ

Під час виникнення збурень, спричинених зовнішніми факторами, порушується режим роботи ГУ, що призводить до зміни температури, вологості або складу живильного розчину. Завдання САК, це мінімізація або взагалі усунення дії збурень на роботу ГУ.

Керування повинно проходити по заданому закону зміни вихідних параметрів об'єкта за допомогою спеціальних регуляторів. СА описується диференціальним рівнянням, та являється взаємодією між засобами автоматичного керування та об'єктом керування.

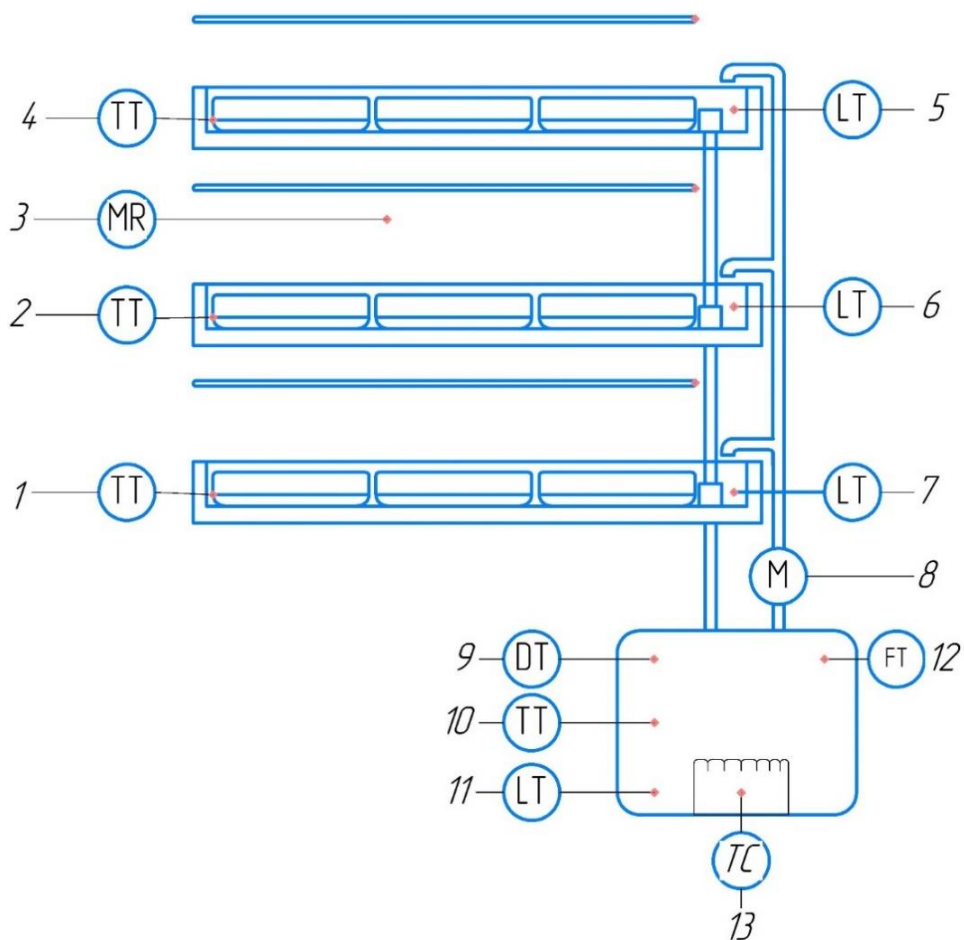


Рисунок 15 ФСА гідропонної установки

3.2 Контроль температури живильного розчину

Контроль температури являється важливим параметром, оскільки неможна подавати ні холодну воду ні дуже гарячу, оскільки мікрозелень дуже швидко реагує на такі зміни, і помилка може стати фатальною для рослин. Для контролю температури в контролері виставляється бажана температура. Спеціальний датчик вимірює температуру розчину, надсилає інформацію на контролер який порівнює фактичну температуру із заданою. Після порівняння контролер визначає потужність яка має поступити на нагрівач. Якщо температура набагато холодніша то контролер дає більше потужності на нагрівач, що дозволить нагріти розчин якомога швидше.

Щоб краще розуміти процес регулювання температурою розчину всередині ємності, потрібно розробити математичну модель динаміки температури рідини, з врахуванням впливу нагрівача та інших фізичних процесів. Рівняння зміни температури живильного розчину описується наступним рівнянням:

$$dQ = P dt,$$

де P – потужність нагрівача.

Рівняння теплового балансу у диференціальній формі виглядає так:

$$dQ = dQ_{\text{ємності}} + dQ_{\text{втрат}},$$

Де $dQ_{\text{ємності}} = cm dT$ - це теплота, яку отримує ємність з розчином за проміжок часу dt

$dQ_{\text{втрат}} = k(T - T_{\text{сер}})dt$ – це теплота, що втрачається ємністю з розчином за проміжок часу dt .

Тоді ми маємо рівняння:

$$P dt = cm dT + k(T - T_{\text{сер}})dt,$$

в якому c – середня теплоємність внутрішніх складових баку з розчином.

m – маса складових баку

dT – зміна внутрішнього середовища за час dt

k – це коефіцієнт обміну теплом з навколишнім середовищем

$T_{\text{сер}}$ – температура навколишнього середовища.

Після перетворень це рівняння набуває наступний вигляд:

$$\frac{cm}{k} * \frac{dT}{dt} = \frac{P}{k} - (T - T_{\text{сер}})$$

Тепер необхідно дане рівняння перевести в зручне, для отримання передавальної функції за температурою, для цього вводимо наступні поняття:

$u = P$ – керуючий вплив на вході,

$y = T - T_{\text{сер}}$ – вихідний сигнал,

$k_{\text{підс}} = \frac{1}{k}$ - коефіцієнт підсилення,

$\tau_p = \frac{cm}{k}$ – стала часу,

Після підстановки у рівняння отримуємо наступне:

$$\frac{cm}{k} * \frac{dy}{dt} = \frac{u}{k} - y;$$

$$\tau_p \frac{dy}{dt} = k_{\text{підс}} - y;$$

$$\tau_p \dot{y} + y = k_{\text{підс}} u;$$

$$P dt = cm dT = k(T - T_{\text{сер}}) dt ;$$

Записуємо рівняння у наступній формі за допомогою перетворення Лапласа, та виконуємо математичні перетворення:

$$\tau_p s Y(s) + Y(s) = k_{\text{підс}} U(s)$$

$$Y(s)(\tau_p s + 1) = k_{\text{підс}} U(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k_{\text{підс}}}{(\tau_p s + 1)} = W(s)$$

Ми отримали передавальну функцію $W(s)$. Тепер потрібно підставити всі відомі нам значення. Маса ємності з живильним розчином складається з води та живильного концентрату.

$$V_{\text{ємності}} = 0,16 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$m_{\text{води}} = 10 \text{ (кг)}$$

$$m_{\text{жк}} = 0,2 \text{ (кг)}$$

Тепер потрібно дізнатися теплоємність:

$$c_{\text{води}} = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \quad c_{\text{жк}} = 3,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

Далі можна розрахувати сталу часу:

$$\tau_p = \frac{cm}{k} = \frac{42660}{k}$$

Якщо брати коефіцієнт теплообміну $1 \frac{\text{Вт}}{\text{с}^{\circ}\text{C}}$, тоді $\tau_p = 42660$, а коефіцієнт підсилення 1, тоді передаточна функція має вигляд:

$$W(s) = \frac{1}{42660s + 1}$$

Взявши за основу дану передатну характеристику, будемо систему з PID регулятором:

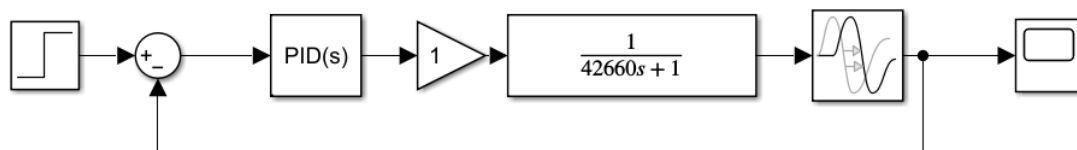


Рисунок 16 Контур регулювання температури

Налаштовую PID регулятор на найменший перехідний час при мінімальному перерегулюванні:

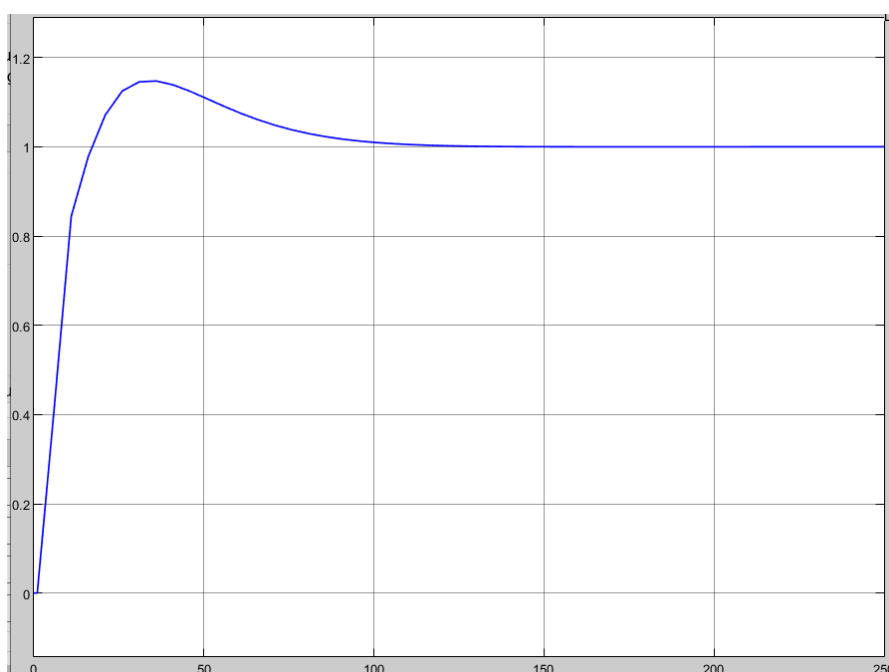


Рисунок 17 Налаштування регулятора

3.3 Контроль рівня рідини

Для точного дозування концентрату, щоб створити живильний розчин правильної концентрації, потрібно завжди тримати рівень рідини в ємності в заданих параметрах. В якості давача використано давач поплавкового типу, який формує на виході сигнал відповідний до рівня рідини в ємності. Регулятор представляє собою електричний ПІД регулятор, на вхід якого поступає сигнал, який МК порівнює із заданим значенням, і після цього формує управляючий сигнал.

Для більш точного розуміння потрібно створити математичну модель об'єкту. Резервуар із живильним розчином може бути описаний диференціальним рівнянням першого порядку:

$$T_a \frac{d}{dt} \phi(t) + F_d \phi(t) = \lambda(t).$$

Де T_a - час розгону об'єкту;

F_d - коефіцієнт самовирівнювання об'єкту;

ϕ - відносна величина регулюючого параметру;

λ – відносна величина збурюючого впливу.

Для складання аналітичної моделі, потрібно співставити параметри диференціального рівняння такі як час розгону та коефіцієнт самовирівнювання з фізичними параметрами об'єкту, для цього спочатку потрібно визначити час розгону об'єкту. Для початку визначимо висоту стовпа рідини над дном ємності – H_0 . Запишемо рівняння балансу значення витрат рідини через крани на притоці ($Q_{пр.ном}$) та відтоці ($Q_{від.ном}$) при номінальних значення μ .

$$\mu_1 f_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} p_1 - H} = \mu_2 f_2 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2}.$$

Далі розраховуємо чисельні значення коефіцієнтів для рівняння.

$$f_{тр1} = \frac{3,14 * 0,076^2}{4} = 0,0045 [м^2];$$

$$f_{тр2} = \frac{3,14 * 0,1^2}{4} = 0,00785 [м^2];$$

$$\sqrt{2g} = 4,4294; \frac{1}{\gamma} \cdot p_1 = \frac{65900}{9535} = 6,9 [м];$$

$$\frac{1}{\gamma} \cdot p_2 = \frac{6500}{9535} = 0,68 [м];$$

Із врахуванням обчислених значень, балансове рівняння матиме наступний вигляд:

$$0,1 \cdot 0,0045 \cdot 4,4294 \cdot \sqrt{6,9 - H} = 0,3 \cdot 0,00785 \cdot 4,4294 \cdot \sqrt{H - 0,68};$$

$$0,00199 \cdot \sqrt{6,9 - H} = 0,01 \cdot \sqrt{H - 0,68}.$$

Після вирішення даного рівняння отримуємо $H = 0,91$ м. Де H – це рівень рідини в ємності. При цьому розхід рідини Q_0 буде дорівнювати:

$$Q_{\text{пр.ном}} = Q_{\text{від.ном}} = Q_0 = 0,005 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right].$$

Висота стовба рідини над дном ємності H_0 буде дорівнювати різності між обчисленим значенням рівня H і висотою стовпа рідини $H_{p2,h}$, еквівалентного тиску підпору $p_{2,h}$ на лінії:

$$H_{p2,h} = \frac{p_{2,h}}{\gamma} = \frac{6500}{9535} = 0,68[\text{м}];$$

$$H_0 = H_{\text{НОМ}} = H - H_{p2,h} = 0,91 - 0,68 = 0,23 [\text{м}].$$

Площа перерізу ємності для води:

$$S = \frac{3,14 * D^2}{4} = 3,14 [\text{м}^2].$$

Об'єм рідини акумульований в резервуарі:

$$V = S * H_0 = 3,14 \times 0,23 = 0,72 [\text{м}^3];$$

Час розгону виходить:

$$T_a = \frac{V}{Q_0} = \frac{0,72}{0,005} = 144,4 [\text{с}].$$

Визначимо коефіцієнти самовирівнювання зі сторони притоку рідини та відтоку. Перепишемо рівняння притоку і відтоку, виразивши значення рідини через висоту стовпа рідини над дном ємності:

$$Q_{\text{пр}} = \mu_1 f_{\text{тр}1} \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} p_1 - H} = \mu_1 f_{\text{тр}1} \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot p_1 - H};$$

$$Q_{\text{от}} = \mu_2 f_{\text{тр}2} \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2};$$

Підставивши значення в формули отримаємо наступне:

$$Q_{\text{пр}} = 0,00199 \cdot \sqrt{6,9 - H};$$

$$Q_{\text{от}} = 0,01 \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2}.$$

Звідси й знайдемо значення коефіцієнту самовирівнювання:

$$\left(\frac{\partial Q_{\text{пр}}}{\partial H} \right)_0 = \frac{-0,00199}{2\sqrt{6,9-0,91}} = \frac{-0,00199}{4,8} = -0,0004;$$

$$\left(\frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial H} \right)_0 = \frac{0,01}{2\sqrt{0,23}} = 0,01;$$

Коефіцієнт дорівнює:

$$F_d = \frac{H_0}{Q_0} \left[\left(\frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial H} \right)_0 - \left(\frac{\partial Q_{\text{пр}}}{\partial H} \right)_0 \right] = \frac{0,23}{0,005} \cdot [0,0004 + 0,01] = 0,48.$$

Диференційне рівняння буде мати вигляд:

$$T_a \frac{d}{dt} \phi(t) + F_d \phi(t) = \lambda;$$

$$144 \frac{d}{dt} \phi(t) + 0,48 \phi(t) = \lambda(t).$$

Де $\lambda(t)$ – відносне збудження

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) - \lambda_2(t) = \frac{\mu_1(t) - \mu_{1,H}}{\mu_{1,H}} - \frac{\mu_2(t) - \mu_{2,H}}{\mu_{2,H}};$$

$\phi(t)$ – відносне відхилення;

$$\frac{H(t) - H_H}{H_H} = \frac{\Delta H(t)}{H_H}.$$

Поточне значення рівня рідини в резервуарі буде:

$$H(t) = H_0 + \Delta H(t) = H_0 + \phi(t) \cdot H_0.$$

В аналітичному вигляді:

$$\phi(t) = \frac{\lambda}{F_d} \cdot \left(1 - e^{-\frac{F_d}{T_a} t} \right) = 2,08 \cdot \lambda \cdot \left(1 - e^{-3 \cdot 10^{-3} \cdot t} \right).$$

Після математичних перетворень отримаємо передатну функцію об'єкту регулювання:

$$W(s) = \frac{2,08}{300s + 1}.$$

Переходимо в Matlab та будуємо систему з PID регулятором:

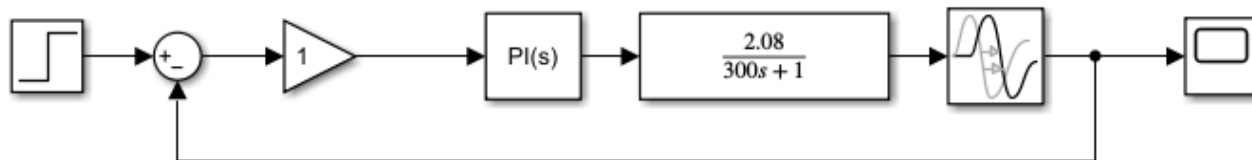


Рисунок 18 Контур регулювання рівня рідини

Налаштовуємо PI регулятор на найменше перерегулювання:

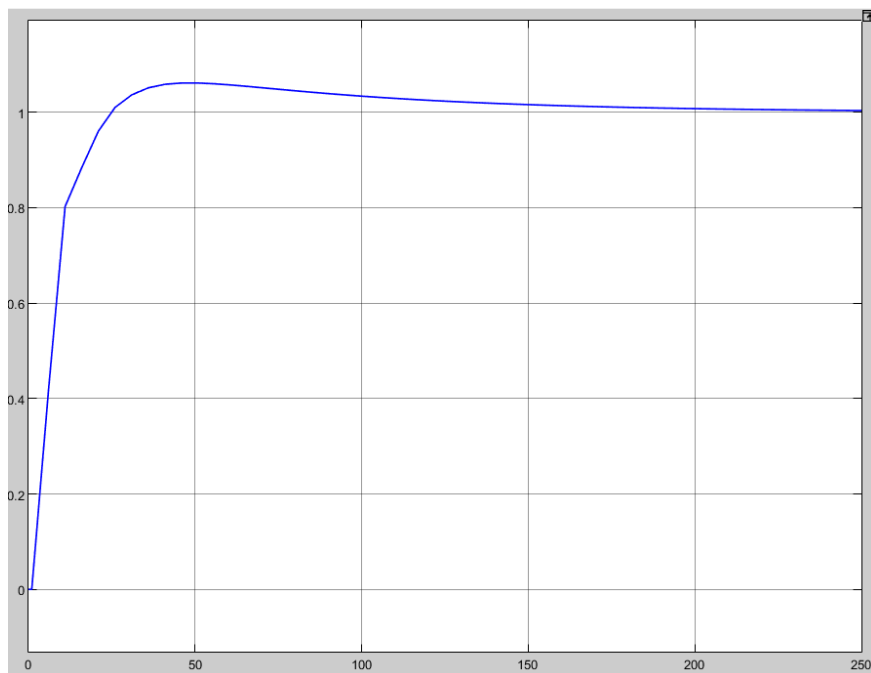


Рисунок 19 Налаштування регулятора

3.4 Контроль подачі рідини в ГУ

Подача рідини самий важливий етап у вирощуванні мікрозелені. Для кожного способу вирощування буде різний спосіб подачі живильного розчину. Наприклад: для методу аеропоніки використовується насос високого тиску, який зможе обприскувати коріння рослин, а якщо вирощувати рослини з допомогою методу глибинного потоку або підтоплення, то в такому разі насос за таймером або постійно накачує рідину в систему.

Створимо та розглянемо математичну модель для системи яка працює за методом аеропоніки. Формула зміни тиску в системи виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} -dW_{1,2} &= -Q_T dt = -\mu\omega\sqrt{2g(H - (P + h))}dt, \\ -dW_{1,2} &= -dH S_{1,2} \end{aligned}$$

де μ – коефіцієнт витрати живильного розчину;

ω – площа поперечного перерізу труби;

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

Прирівнявши рівняння, ми отримаємо рівняння балансу для ємності

$$-dHS_{1,2} = -\mu\omega\sqrt{2g(H - (P + h))}dt.$$

В ємність для живильного розчину надходить об'єм води який визначається рівнянням.

$$-dW_\phi = -aS_{2,1}(z_m + h)dt,$$

де a – коефіцієнт що характеризує швидкість зміни рівня живильного розчину,

z_m – мінімальний рівень рідини в ємності.

Беремо коефіцієнт підсилення 0,2.

Після математичних перетворень передаточна функція має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,2}{1760s + 1}$$

Далі переходимо в Matlab та будуємо систему з PID регулятором:

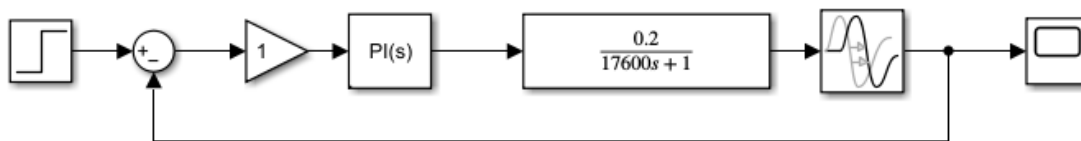


Рисунок 20 Контур подачі рідини в ГУ

Налаштовуємо PI регулятор:

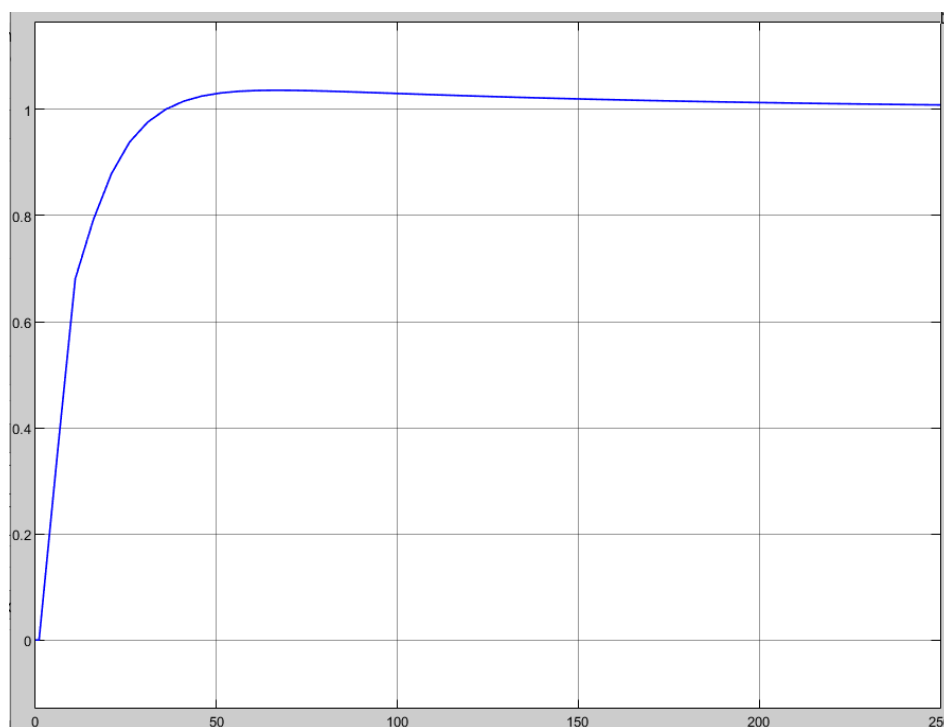


Рисунок 21 Налаштування регулятора

4. Апаратні засоби автоматизації гідропонної установки

Для автоматизації гідропонної установки потрібно закупити обладнання, яке зможе з точністю виконувати свою роботу. Один із найважливіших компонентів ГУ це – мікроконтролер. В якості «мізків» ГУ використовується Arduino Uno на базі мікропроцесора АТmega328.

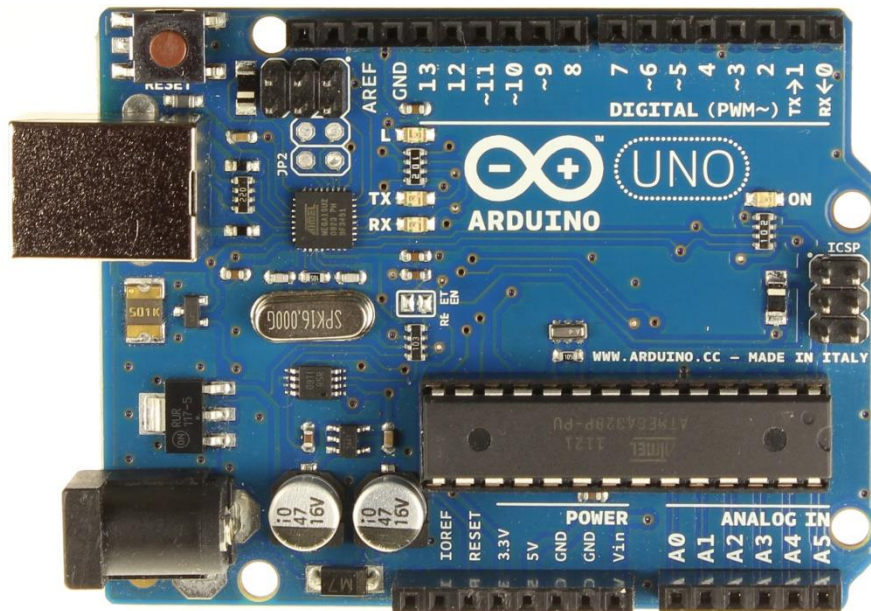


Рисунок 22 Загальний вигляд Arduino Uno

На базі Arduino Uno є все, що потрібно для автоматизації:

- 14 цифрових входів та виходів, 6 із яких можуть бути використані в якості ШИМ виходів;
- 6 аналогових виходів;
- роз'єм USB;

Контролер простий у використанні, для початку роботи достатньо подати живлення через роз'єм живлення, USB, або від акумуляторних батарей, що дозволить зробити систему автономною, оскільки для живлення вистачає 7 вольт постійного струму. [4]

Для вимірювання рівня рН використовується спеціальний датчик:
Дешевий та простий у використанні датчик рівня рН розроблений спеціально для підключення до Arduino.



Рисунок 23 Датчик рівня рН

Для точних вимірювань датчик потрібно приблизно раз у пів року калібрувати. Напруга живлення датчика 5В, а діапазон вимірювання від 0 до 14 рН. Час вимірювання менше хвилини, що дозволить швидко реагувати на зміну вимірюваного параметра.

Для контролю витрат рідини потрібен спеціальний датчик:



Рисунок 24 Датчик витрат рідини

Цей датчик ідеально підходить для автоматичного контролю витрат води в ГУ. Він складається з корпусу, в якому знаходиться водяний ротор та датчик Холла. При проходженні води, ротор обертається, і датчик Холла видає імпульси, які відповідають швидкості обертів.[5]

Для прокачування живильного розчину використовується насос з підтримкою тиску в системі:



Рисунок 25 Насос із підтримкою тиску

Насос використовується для прокачки рідини та підтримання тиску в системі. Потужність насосу 3.6 літри в хвилину. Живлення насосу від 12 вольт, а тиск який може нагнати 0.45 bar.

Для освітлення використовуються спеціальні світлодіодні фітолампи:



Рисунок 26 Використання світлодіодних фітоламп

Це доволі бюджетний спосіб замінити рослинам сонячне освітлення. Лампи мають термін служби близько 30000 - 50000годин, що дозволить їх дуже рідко замінювати. Правильне світло дозволяє рослинам набагато швидше рости та мати здоровий, зелений колір. Світлодіодні фітолампи мають мале енергоспоживання та екологічні. [2]

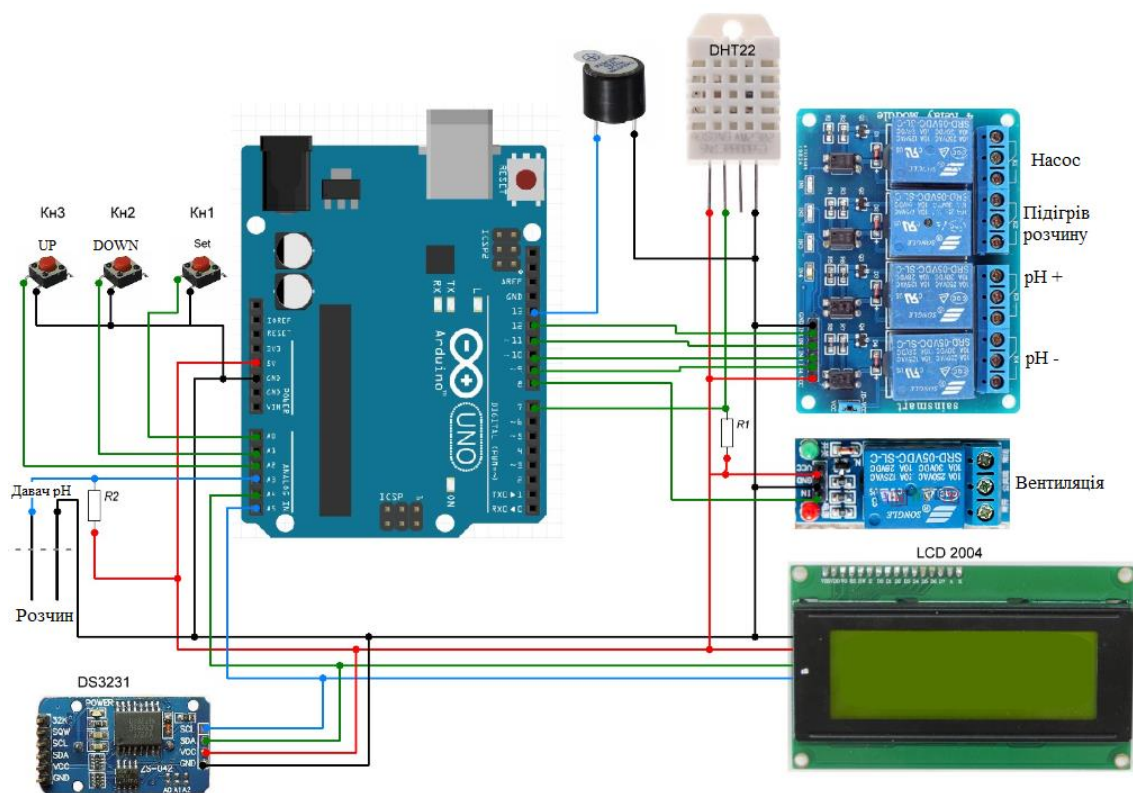


Рисунок 27 Схема підключення гідропонної установки

Схема підключення створена таким чином, щоб мінімізувати зусилля при збірці системи, але при цьому вона правильно функціонувала та підтримувала життєво важливі параметри рослин у нормі.

Висновки

У ході виконання дипломної роботи було розглянуто найбільш популярні гідропонні установки, було розроблено математичні моделі для контролю температури, рівня та тиску живильного розчину, створено модель в Matlab, підібрано PID регулятор для контролю температури та PI регулятори для контролю рівня живильного розчину та контролю подачі рідини в систему. Результатом роботи стало більш економне та збалансоване використання енергії та водних ресурсів. Також було підібрано основні виконавчі механізми, без яких неможлива автоматизація гідропонної установки та розроблено схему підключення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. - Сучасне овочівництво в приміщенні та на відкритому повітрі. Практичний посібник. - Житомир: Рута, 2012. - 468 с. ISBN 978-617-581-053-8.
2. "Using LED Lights for Greenhouse Lighting: Reality and Perspectives" STA - PRESS, 2015
3. "Automated Hydroponics!" - <https://levelup.gitconnected.com/automated-hydroponics-9aa697552b9d>
4. "Arduino Uno" – <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
5. "Датчик витрат води для Arduino" – https://vseplus.com/ua/product/daticik-vitrat-vodi-dla-arduino-89549?gclid=Cj0KCQiA14WdBhD8ARIsANao07gkkakZNPt7c8x1XOCabB5qbXOW8_dwst1dnWX9RMO5HOIhF0dv-1kaArIBEALw_wcB
6. "Hydroponic Systems With Raspberry Pi and Arduino" - <https://www.makeuseof.com/hydroponic-systems-with-raspberry-pi-and-arduino/>
7. Фітосвітлодіоди для вирощування рослин - http://www.symmetron.ua/N_A/news:n02092015
8. Усе для вирощування рослин – <https://floragrowing.com/uk>
9. Субстратні та гідропонні системи – <https://www.yara.ua/crop-nutrition/soft-fruits/soft-fruits-key-facts/substrate-and-hydroponic/>
10. Гідропонна установка для вирощування рослин – https://green-chief.com.ua/ru/gidronnaya-ustanovka-avtopoliva-dlya-vyrashchivaniya-rasteniy-zelenyy-shef.-sdelay-sam-na-5-polok/?gclid=CjwKCAiAhKycBhAQEiwAgf19eiXz5pdRQoW5IrhIWPn9Sxvw18S7BKWfxhTPyzJNVIEqjLJBk2qXRoC4GcQAvD_BwE
11. "Commercial Aeroponics: The Grow Anywhere Story". In Vitro Report. Research News. The Society for In Vitro Biology (44.2). 2008.
12. Вирощування мікрозелені як бізнес – <https://semena.cc/blog/microgreen/vyrashhivanie-mikrozeleni-kak-biznes/>
13. Гідропоніка – <https://shop.floragrowing.com/ua/a360402-gidroponika.html>
14. Automation and Robotics Used in Hydroponic System - <https://www.intechopen.com/chapters/70662>
15. Гідропонна установка своїми руками – <https://valest.com.ua/gidronna-ustanovka-svoimi-rukami-jak-zrobiti/>
16. "Гідропоніка – минуле, сучасність і майбутнє" – <https://gma.khmnu.edu.ua/hidroponika/>

17. Спосіб вирощування зелених культур методом проточно-підтоплюючої гідропоніки -
<https://uapatents.com/7-119940-sposib-viroshhuvannya-zelenikh-kultur-metodom-protochno-pidtoplyuyucho-gidroponiki.html>