



Я, як студентка ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавала та не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

12.06.2024

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Natalya V. S.', written in a cursive style.

Натарова В.С.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет \_\_\_\_\_ АКТ  
Кафедра \_\_\_\_\_ КІТАР  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший(бакалаврський)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентці \_\_\_\_\_ Натаровій Вікторії Сергіївні  
(шифр і назва)

1. Тема роботи: \_\_\_\_\_ Розробка системи автоматизації для гідропонного  
вирощування рослин

Затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ 03.06.2024 №544Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 18.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Датчик освітленості на основі фоторезистора;

3.2 Ємнісний датчик вологості ґрунту; 3.3 Модуль вимірювання температури  
та вологості; 3.4 Водяний занурювальний насос

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз

систем управління гідропонними системами; 4.3 Аналіз існуючих аналогів

4.4 Розробка структурної схеми; 4.5 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв

4.6 Вибір модуля мікроконтролера; 4.7 Розробка схеми підключення;

4.8 Розрахунки часу та споживання води; 4.9 Збірка макету; 4.10 Розрахунок

передаточних функцій; 4.11 Обґрунтування та вибір середовища розробки;

4.12 Розробка загального алгоритму роботи; 4.13 Розробка алгоритму

керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування

рослин; 4.14 Програмна реалізація обробки даних з датчиків; 4.15 Реалізація

НМІ системою керування модулем; 4.16 Проведення експерименту;

4.17 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(\*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

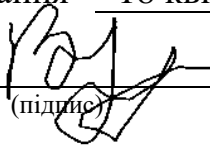
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем управління гідропонними системами	20.04.2024-22.04.2024	виконано
2	Аналіз існуючих аналогів	23.04.2024-25.04.2024	виконано
3	Розробка структурної схеми	26.04.2024-28.04.2024	виконано
4	Вибір датчиків та виконавчих пристроїв	29.04.2024-01.05.2024	виконано
5	Вибір модуля мікроконтролера	02.05.2024-03.05.2024	виконано
6	Розробка схеми підключення	04.05.2024-07.05.2024	виконано
7	Розрахунки часу та споживання води	08.05.2024-10.05.2024	виконано
8	Збірка макету	11.05.2024-15.05.2024	виконано
9	Розрахунок передаточних функцій	16.05.2024-18.05.2024	виконано
10	Обґрунтування та вибір середовища розробки	19.05.2024-21.05.2024	виконано
11	Розробка загального алгоритму роботи	22.05.2024-23.05.2024	виконано
12	Розробка алгоритму керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин	24.05.2024-26.05.2024	виконано
13	Програмна реалізація обробки даних з датчиків	27.05.2024-29.05.2024	виконано
14	Реалізація НМІ системою керування модулем	30.05.2024-02.06.2024	виконано
15	Проведення експерименту	03.06.2024-05.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 18 квітня 2024р.

Студент \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Натарова В.С.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Чала О.О.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 9 табл., 22 рис., 2 дод., 20 джерел.

ГІДРОПОННІКА, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГІДРОПОННИМИ СИСТЕМАМИ, СТРУКТУРНА СХЕМА, ARDUINO IDE, НМІ СИСТЕМА.

Мета роботи – автоматизація процесів гідропонного вирощування рослин, шляхом розробки комп'ютеризованої системи поливу та обробки, яка дозволяє забезпечувати оптимальні умови вирощування, що дає підвищення врожайності, зменшення ресурсо- та енерговитрат.

Об'єкт роботи – процес автоматизації технології вирощування рослин засобами гідропоніки.

Предмет роботи – автоматизована система вирощування.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано системи управління гідропонними системами та проведено аналіз існуючих аналогів. Розроблено структурну схему, проведено вибір датчиків, виконавчих пристроїв та вибір модуля мікроконтролера для реалізації системи керування. Розроблено схему підключення, проведено розрахунки часу та споживання води для системи. Зібрано макет системи та проведено розрахунок передаточних функцій. Проведено обґрунтування та вибір середовища розробки. Розроблено загальний алгоритм роботи системи та алгоритм керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин. Програмно реалізовано обробку даних з датчиків в середовищі Arduino IDE та керування виконуючими пристроями. Реалізовано НМІ систему керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин та проведено експеримент.

## ABSTRACT

Explanatory note: 80 pages, 9 tables, 22 figures, 2 app, 20 sources.

HYDROPONICS, CONTROL SYSTEM OF HYDROPONICS, STRUCTURE DIAGRAM, ARDUINO IDE, HMI SYSTEM.

The purpose of the work is to automate the processes of hydroponic growing of plants by developing a computerized system of watering and processing, which allows providing optimal growing conditions, which increases yield, reduces resource and energy consumption.

The object of the work is the process of automating the technology of growing plants by means of hydroponics.

The subject of the work is an automated growing system.

In the qualification work, the control systems of hydroponic systems were analyzed and the existing analogues were analyzed. The structural diagram was developed, the selection of sensors, actuators and the selection of the microcontroller module for the implementation of the control system were carried out. A connection scheme was developed, time and water consumption calculations for the system were carried out. The system layout was assembled and the transfer functions were calculated. The justification and selection of the development environment was carried out. A general system operation algorithm and a control algorithm for the hydroponic plant parameters control module have been developed. Data processing from sensors in the Arduino IDE environment and control of executing devices are implemented software. The HMI control system of the hydroponic plant parameters control module was implemented and an experiment was conducted.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасних систем автоматизації для гідропонного вирощування рослин.....	12
1.1 Аналіз систем управління гідропонними системами .....	12
1.2 Аналіз існуючих аналогів.....	13
1.2.1 AeroGarden .....	13
1.2.2 Click & Grow Smart Garden .....	14
1.2.3 FarmBox.....	16
1.2.4 Hydropot System.....	17
1.2.5 Nutrient Film Technique Systems .....	18
2 Розробка апаратного модуля контролю параметрами гідропонного вирощування рослин .....	20
2.1 Розробка структурної схеми системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин .....	20
2.2 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв.....	25
2.3 Вибір модуля мікроконтролера для реалізацій системи керування .....	32
2.4 Розробка схеми підключення.....	36
2.5 Розрахунки часу та споживання води для системи автоматизації гідропонного вирощування рослин .....	38
2.6 Збірка макету системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин.....	41
2.7 Розрахунок передавальних функцій.....	42
3 Розробка програми керування апаратним модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин .....	47
3.1 Обґрунтування та вибір середовища розробки.....	47

3.2 Розробка загального алгоритму роботи системи гідропонного вирощування рослин.....	48
3.3 Розробка алгоритму керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин.....	52
3.4 Програмна реалізація обробки даних з датчиків в середовищі Arduino IDE та керування виконуючими пристроями.....	59
3.5 Реалізація НМІ системою керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин.....	63
3.6 Проведення експерименту .....	68
3.7 Охорона праці.....	69
Висновки .....	71
Перелік джерел посилань .....	73
Додаток А Код програми.....	77
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	79

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗВ – пристрій захисного відключення;

DWC – deep water culture;

HMI – human-machine interface;

IoT – internet of things;

NFT – nutrient film technique systems.

## ВСТУП

Розробка систем автоматизації для гідропонного вирощування рослин стає надзвичайно актуальною в контексті сучасних вимог до сільського господарства та продовольчої безпеки. Зростаюча популярність гідропоніки як методу вирощування рослин свідчить про перехід до більш стійких, ефективних та екологічно чистих систем вирощування. Автоматизація дозволяє оптимізувати процеси поливу, живлення та освітлення, що в свою чергу забезпечує стабільний ріст та врожайність, незалежно від зовнішніх факторів, таких як кліматичні умови чи людські помилки. Більш того, у світлі зростання міської популяції та боротьби з глобальними екологічними проблемами, гідропонні системи стають важливим елементом у питанні створення стійкого та сталого харчування в містах. Автоматизація зменшує необхідність у людській присутності та фізичній праці, що робить вирощування більш доступним та ефективним, зокрема для тих, хто мешкає у міському середовищі.

Мета роботи – автоматизація процесів гідропонного вирощування рослин, шляхом розробки комп'ютеризованої системи поливу та обробки, яка дозволяє забезпечувати оптимальні умови вирощування, що дає підвищення врожайності, зменшення ресурсо- та енерговитрат.

Об'єкт роботи – процес автоматизації технології вирощування рослин засобами гідропоніки.

Предмет роботи – автоматизована система вирощування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз систем управління гідропонними системами;
- провести аналіз існуючих аналогів;
- розробити структурну схему системи;
- провести вибір датчиків та виконавчих пристроїв;

- провести вибір модуля мікроконтролера;
- розробити схеми підключення;
- провести розрахунки часу та споживання води;
- провести зборку макету системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин;
- провести розрахунок передаточних функцій;
- провести обґрунтування та вибір середовища розробки;
- розробити загального алгоритму роботи системи;
- розробити алгоритму керування модулем;
- програмно реалізувати обробку даних з датчиків;
- реалізувати НМІ систему керування;
- провести експеримент.

Кваліфікаційна робота була виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], а також, керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

Тема кваліфікаційної роботи сформульована у рамках тематики Міжнародного договору ХНУРЕ та Кельнського університету (Німеччина), що поєднує біологію та технології для вивчення змін, шляхом автоматизації процесів вирощування рослин.

Питання, що розглядаються в кваліфікаційній роботі, відповідають «Цілям сталого розвитку» (ЦСР, відомі також як Глобальні цілі) – ключові напрямки розвитку країн, що були ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку.

Тематика роботи частково вирішує питання, що вміщені в ціль «Ціль 1. Подолання бідності», «Ціль 2. Подолання голоду, розвиток сільського господарства» та «Ціль 9. Промисловість, інновації та інфраструктура» [4]. Отримані результати кваліфікаційної роботи апробовано на міжнародній конференції та опубліковано в наукових статтях [5-6].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ ГІДРОПОННОГО ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

## 1.1 Аналіз систем управління гідропонними системами

Системи управління гідропонними системами включають різноманітні технології та компоненти, що дозволяють автоматизувати та оптимізувати процес вирощування рослин. По-перше, це системи контролю вологості та температури. Вони вимірюють рівень вологості повітря та ґрунту, а також температуру в середовищі вирощування. За допомогою цих даних система може автоматично регулювати полив, вентиляцію та оптимальні умови для росту рослин.

По-друге, вбудовано системи живлення та добрив. Вони контролюють концентрацію добрив у розчині та автоматично додають необхідні елементи живлення для рослин у систему гідропоніки. Це дозволяє точно забезпечити рослини всіма необхідними мікроелементами для здорового зростання.

Ще одним компонентом є системи освітлення. Для ефективного вирощування рослин у гідропонній системі потрібне оптимальне освітлення. Системи управління освітленням можуть регулювати інтенсивність та тривалість світла, що допомагає рослинам оптимально використовувати енергію світла для фотосинтезу.

Важливим елементом систем управління гідропонними системами є системи моніторингу та керування. Вони забезпечують збір даних про стан рослин та середовища вирощування, а також дозволяють віддалено керувати системою через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

Також, існують системи автоматичного розпілу води. Вони контролюють рівень води у кожній частині системи гідропоніки та автоматично подають воду до рослин згідно з їхніми потребами. Це дозволяє

уникнути перенасичення або пересихання ґрунту та забезпечити рослини оптимальними умовами для зростання.

## 1.2 Аналіз існуючих аналогів

У контексті стрімкого розвитку агротехнологій та зростаючого інтересу до сталого сільського господарства, автоматизація гідропонного вирощування рослин відіграє ключову роль у формуванні майбутнього аграрного сектору. Впровадження інноваційних рішень у цей процес не тільки спрощує управління вирощуванням, але й забезпечує високу продуктивність і сталість виробництва. Цей підрозділ присвячений аналізу існуючих аналогів автоматизованих систем гідропоніки, що дозволяє оцінити поточний стан технологій та визначити перспективні напрямки розвитку.

### 1.2.1 AeroGarden

Система AeroGarden – це інноваційне пристрій для вирощування рослин вдома без землі. Основна ідея полягає в тому, щоб забезпечити оптимальні умови для росту рослин шляхом регулювання води, освітлення і добрив. Основні компоненти системи включають в себе спеціальний контейнер для води з інтегрованою системою насосів і фільтрів, вбудоване LED-освітлення, контроль рівня води і автоматичний таймер.

Коли користувач насипає воду до контейнера і додає добрива, система починає свою роботу. Вбудований насос постійно циркулює воду, забезпечуючи рівномірне зволоження коренів рослин. LED-освітлення, яке вбудовано в систему, емулює природне сонячне світло і забезпечує рослини необхідною енергією для фотосинтезу. Додатково, система може мати вбудований автоматичний таймер, який регулює тривалість освітлення для підтримки оптимальних умов для кожного виду рослин. Загальний вид AeroGarden представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид AeroGarden [7]

Система AeroGarden пропонує безземельне вирощування рослин у воді, що забезпечує автоматизоване середовище для культивування різноманітних рослин у власному домі. Однією з переваг цієї системи з точки зору автоматизації є її здатність допомагати в підтримці оптимальних умов для росту рослин без значного зусилля з боку користувача. Вбудований таймер і система автопідживлення регулюють рівень води, освітлення і добрив, забезпечуючи необхідні умови для здорового росту. Це особливо зручно для початківців або тих, хто має обмежений досвід у вирощуванні рослин.

Незважаючи на ці переваги, система AeroGarden також має свої недоліки у контексті робототехніки. Однією з головних обмежень є обмежений функціонал системи, який може не задовольнити потреби більш досвідчених або вимогливих городників. Наприклад, більш продвинуті користувачі можуть бажати більше контролю над параметрами вирощування, такими як інтенсивність освітлення або рівень добрив. Крім того, залежність від електропостачання для функціонування системи може бути проблемою у випадку відключення електроенергії або інших технічних проблем [7].

### 1.2.2 Click & Grow Smart Garden

Наступна система Click & Grow Smart Garden – це ще один інноваційний пристрій для вирощування рослин вдома, який використовує

технології гідропоніки та автоматизації. Основна мета Smart Garden – надати користувачам можливість вирощувати свіжі трави, овочі або квіти без землі і без необхідності великої кількості догляду.

Ця система включає в себе спеціальний контейнер для рослин, вбудоване LED-освітлення та автоматичну систему подачі води і добрив. Пристрій також може бути підключений до мобільного додатку, що дозволяє користувачам віддалено контролювати і керувати вирощуванням своїх рослин через смартфон або планшет. Загальний вид AeroGarden представлено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальний вид Click & Grow Smart Garden [8]

Однією з ключових переваг Smart Garden є його зручність і легкість використання. Користувачам не потрібно мати досвіду в сільському господарстві, оскільки система автоматично регулює рівень води, освітлення і добрив, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин. Крім того, компактний дизайн Smart Garden робить його ідеальним варіантом для невеликих приміщень.

Однак, деякі користувачі можуть вважати, що обмежений вибір рослин, які можна вирощувати за допомогою Smart Garden, є його недоліком. Крім того, вартість пристрою та заміни картриджів зі змінюваними рослинами

може бути високою, що може відлякувати деяких потенційних користувачів [8].

### 1.2.3 FarmBox

FarmBox представляє собою більш складну систему гідропоніки, призначену для середніх і великих масштабів вирощування. Це повністю модульна та масштабована система, яка може бути адаптована під різноманітні просторові вимоги. Вона включає авангардні технології моніторингу стану рослин, автоматичного дозування поживних речовин та контролю за мікрокліматом, що робить її ідеальною для комерційного вирощування. Загальний вид FarmBox представлено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальний вид FarmBox [9]

Основна перевага FarmBox полягає в її здатності забезпечувати умови для вирощування свіжих органічних продуктів у будь-який час року та незалежно від кліматичних умов. Вона також дозволяє користувачам контролювати якість та безпеку продуктів, оскільки вони можуть вирощувати їх власноруч, без використання пестицидів або хімічних добрив.

Однак, деякими недоліками FarmBox можуть бути висока вартість системи та необхідність постійного догляду за рослинами, включаючи

регулярне підживлення та очищення системи. Крім того, система може займати значний простір у приміщенні, що може бути недоцільним для деяких користувачів [9].

#### 1.2.4 Hydropot System

Hydropot System відомий своєю простотою в установці та використанні. Він може бути легко зібраний і налаштований без необхідності великого обсягу знань або досвіду у вирощуванні рослин. Це робить його відмінним вибором для початківців та тих, хто шукає простий та ефективний спосіб вирощування своїх рослин вдома.

Система, зазвичай, має компактний дизайн, що дозволяє використовувати мінімальну кількість простору. Це особливо корисно для тих, хто має обмежений доступ до простору, такого як мешканці квартир або жителі місць із обмеженим простором для садівництва. Деякі моделі Hydropot System можуть бути оснащені автоматичними системами поливу та добрив, що робить їх ще більш зручними для користувачів. Ці системи можуть контролювати рівень води, рН та концентрацію добрив, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин. Загальний вид Hydropot System представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Hydropot System [10]

Іншою особливістю HydroPot System може бути його стильний та сучасний дизайн. Багато моделей призначені не лише для функціональності, а й для того, щоб вони виглядали привабливо і доповнювали інтер'єр будинку чи кімнати [10].

### 1.2.5 Nutrient Film Technique Systems

Основна особливість системи Nutrient Film Technique Systems (NFT) полягає в тому, що коріння рослин знаходиться у струмі живильного розчину, який постійно циркулює через систему. Однак, на відміну від інших систем гідропоніки, таких як "Deep Water Culture" (DWC) або "Ebb and Flow", вода в NFT системі не стоїть, а протікає повз коріння рослин. Основні компоненти системи NFT включають в себе:

- спеціальні канали або труби, по яких протікає живильний розчин, утворюючи тонку плівку, на якій розташовані корені рослин;
- резервуар для живильного розчину, звідки вода неперервно подається до каналів;
- насос, який переносить живильний розчин з резервуару до каналів;
- фільтр для очищення розчину від забруднень і додаткові компоненти, такі як добрива або рН-регулятори.

Загальний вид NFT системи представлено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Загальний вид NFT системи [11]

Переваги системи NFT включають в себе ефективне використання води та добрив, швидке зростання рослин, легкість обслуговування та можливість вирощування широкого спектру рослин. Однак, деякими недоліками можуть бути схильність до засмічення або забруднення каналів, потенційна вразливість до відключень електропостачання і більш високі витрати енергії через роботу насоса [11].

AeroGarden та Click & Grow Smart Garden є системами, що акцентуються на домашньому вирощуванні трав та овочів. Обидві вони пропонують автоматизовані функції та зручний користувацький досвід, але Click & Grow може бути більш доступною альтернативою, зокрема для тих, хто шукає компактний дизайн та більш доступну ціну. FarmBox вирізняється своєю здатністю вирощувати широкий спектр продуктів, включаючи овочі, зелень та трави, та надає користувачам можливість контролювати якість та безпеку продуктів, вирощуючи їх органічним методом. HydroPot System та системи NFT, які включають в себе системи гідропонічної техніки, надають більше гнучкості та продуктивності вирощування, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин. Вони можуть бути більш підходящими для серйозних садівників або тих, хто має більший обсяг вирощування.

У підсумку, кожна з цих систем має свої унікальні переваги та обмеження. Вибір системи гідропоніки залежить від індивідуальних потреб та умов користувача, таких як бюджет, обсяг вирощування, доступність простору та рівень експертизи у сільському господарстві.

## **2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРАМИ ГІДРОПОННОГО ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН**

### **2.1 Розробка структурної схеми системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин**

Розробка структурної схеми системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин є важливою, оскільки дозволяє забезпечити ефективний контроль і управління різними аспектами процесу вирощування.

Перш за все, така структурна схема допомагає визначити основні компоненти системи, такі як датчики для вимірювання рівня рН та електропровідності розчину, системи поливу та дозування рідинних добрив. Далі, вона дозволяє визначити логіку роботи системи, включаючи управління рівнем розчину, температурою, освітленням, аерацією та іншими параметрами.

Структурна схема також визначає способи збору, зберігання та аналізу даних, що дозволяє вчасно виявляти будь-які аномалії та втручатися у процес вирощування. Крім того, структурна схема допомагає встановити взаємозв'язки між різними компонентами системи, що дозволяє покращити їх ефективність та забезпечити оптимальні умови для росту та розвитку рослин. Для досягнення оптимальних умов для росту та розвитку рослин розроблювальна система автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин повинна забезпечити контроль за наступними параметрами, які представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри, які потрібно контролювати для досягнення оптимальних умов для росту та розвитку рослин розроблювальною системою автоматизації

Параметр	Опис
рН рівень	Контроль рівня рН (кислотності) розчину дозволяє забезпечити оптимальні умови для засвоєння поживних речовин рослинами. Відхилення від оптимального рН може призвести до погіршення засвоєння поживних речовин та росту рослин
Електропровідність	Контроль електропровідності розчину дозволяє визначити концентрацію поживних речовин у водному розчині. Це допомагає управляти добривами та забезпечити рослини всіма необхідними поживними речовинами
Температура	Контроль температури розчину дозволяє забезпечити оптимальні умови для зростання та розвитку рослин. Відхилення від оптимальної температури може негативно впливати на фізіологічні процеси у рослин
Освітлення	Контроль освітлення дозволяє забезпечити рослини достатньою кількістю світла для фотосинтезу. Відповідне освітлення впливає на зростання та розвиток рослин
Аерація	Контроль аерації розчину дозволяє забезпечити достатнє постачання кисню до кореневої системи рослин. Це важливо для дихання коренів та забезпечення оптимальних умов для росту
Кількість рослин	Контроль кількості рослин у системі дозволяє забезпечити оптимальне розподілення поживних речовин та світла між рослинами. Надмірна густина може призвести до конкуренції за ресурси та погіршення зростання

Виходячи з перерахованих параметрів, представлених в таблиці 2.1 необхідно розробити структурну схему системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин, так щоб вона максимально охоплювала всі проаналізовані параметри. Розроблена структурна схема системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин представлена на рисунку 2.1.

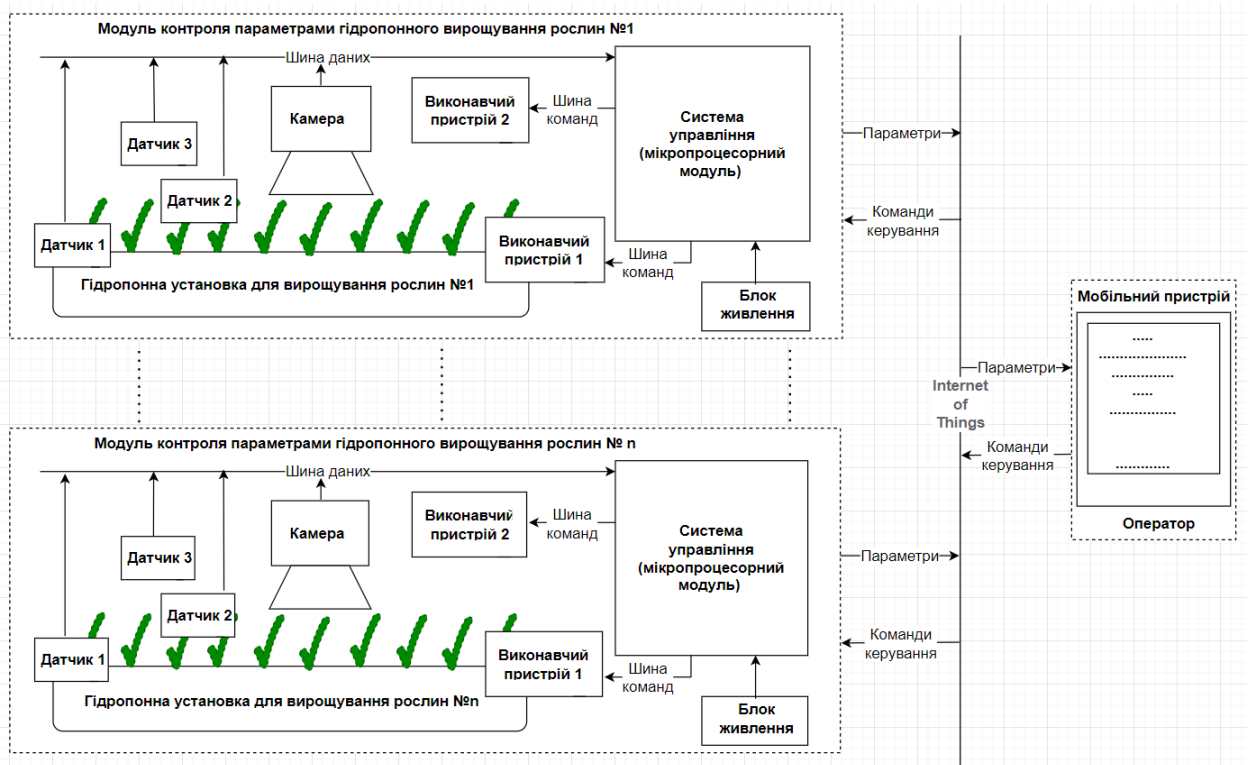


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин

Як можна бачити з рисунку 2.1, розроблена структурна схема системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин складеться з наступних елементів.

Датчик1, ..., Датчик 3 – необхідні для контролю рівня рН та електропровідності розчину, температури, освітлення, аерації, вологості ґрунту, а також росту рослин, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для зростання та розвитку рослин у гідропонній системі, базові параметри, які потрібно контролювати приведені в таблиці 2.1.

Виконавчий пристрій1, ..., Виконавчий пристрій2 – необхідні для автоматичного керування різними процесами у гідропонній системі на основі отриманих даних від датчиків. Наприклад, вони можуть включати насоси для поливу та циркуляції розчину, клапани для дозування добрив, системи освітлення для регулювання світлового режиму, а також інші пристрої для забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку рослин. Використання

виконавчих пристроїв дозволяє автоматизувати процес вирощування рослин, забезпечуючи їм необхідні умови без постійного контролю та втручання оператора.

Камера – потрібна для візуального спостереження за рослинами та середовищем вирощування, моніторингу росту рослин, виявлення шкідників та хвороб, контролю за станом середовища та документування результатів, що дозволяє покращити контроль за умовами вирощування та забезпечити більш ефективно управління процесом.

Шина даних – забезпечення комунікації між різними компонентами системи, такими як датчики та контролери. Вона дозволяє передавати дані про вимірювання параметрів рослинного середовища (таких як рівень рН, температура, електропровідність тощо) з датчиків до контролерів, які приймають рішення про необхідні корективи в роботі виконавчих пристроїв (наприклад, поливу, дозування добрив, регулювання освітлення тощо). Шина даних є ключовим елементом, який дозволяє системі працювати як єдине ціле, забезпечуючи взаємодію між всіма її компонентами для досягнення оптимальних умов для росту та розвитку рослин.

Шина команд – необхідна для передачі команд та інструкцій від контролера до виконавчих пристроїв. Вона дозволяє контролеру керувати роботою виконавчих пристроїв, таких як насоси для поливу, клапани для дозування добрив, системи освітлення та інші, з метою забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку рослин. Шина команд є способом для контролера надсилати вказівки пристроям і взаємодіяти з ними, щоб управляти всією системою автоматизації гідропонного вирощування.

Система управління (мікропроцесорний модуль) – відповідає за керування всіма процесами системи на основі зібраних даних та отриманих команд. Вона виконує такі функції:

- обробка даних, мікропроцесорний модуль обробляє дані від датчиків щодо рівня рН, температури, вологості тощо для аналізу та прийняття рішень;

- прийняття рішень, на основі отриманих даних система управління визначає необхідні кроки для забезпечення оптимальних умов для росту рослин;

- керування виконавчими пристроями, вона керує роботою виконавчих пристроїв, таких як насоси для поливу, клапани для дозування добрив, системи освітлення тощо, для забезпечення оптимальних умов для росту рослин;

- взаємодія з оператором, система управління може мати інтерфейс для взаємодії з оператором, що дозволяє контролювати та налаштовувати роботу системи;

- моніторинг та діагностика, дає можливість здійснювати моніторинг роботи системи та діагностику можливих проблем для швидкого реагування та усунення неполадок.

Internet of Things (IoT) – у структурній схемі системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин використовується для забезпечення підключення та взаємодії між різними пристроями та компонентами системи через Інтернет. Вона дозволяє:

- дистанційне керування, оператор може керувати системою з будь-якого місця за допомогою Інтернету, що забезпечує зручність та доступність управління;

- моніторинг в реальному часі, дані з датчиків можуть передаватися в реальному часі для моніторингу умов вирощування та прийняття відповідних рішень;

- автоматичне управління, система може автоматично реагувати на зміни у параметрах вирощування та виконувати необхідні дії для забезпечення оптимальних умов для рослин;

- збір та аналіз даних, IoT дозволяє збирати велику кількість даних про вирощування рослин для подальшого аналізу та вдосконалення системи;

- ефективне використання ресурсів, завдяки IoT можливе ефективне використання води, добрив та інших ресурсів за рахунок точного дозування та контролю.

Блок живлення – необхідний для забезпечення електроживлення всіх електронних пристроїв та компонентів системи, включаючи мікропроцесорний модуль, датчики, виконавчі пристрої, забезпечуючи стабільну роботу системи та захист від перенапруги.

Мобільний пристрій – використовується для віддаленого керування та моніторингу системи, надсилання сповіщень про стан системи та реагування на зміни у вирощуванні рослин, що забезпечує зручність управління та підвищує ефективність вирощування.

Розроблена структурна схема системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин є підходом до децентралізованого рішення системи керування, що дозволяє забезпечити більшу гнучкість та надійність управління, розподілення завдань та підвищення стійкості до відмов.

## 2.2 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв

Аналіз та вибір датчиків та виконавчих пристроїв є важливим етапом у розробці системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин на базі розробленої структурної схеми (рис. 2.1). Правильно підібрані датчики дозволяють збирати точні дані про умови вирощування рослин (табл. 2.1), що є критичним для забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку рослин. Вибір виконавчих пристроїв, таких як насоси для поливу, клапани для дозування добрив тощо, також має велике значення, оскільки вони відповідають за виконання необхідних дій у системі. Правильно

підібрані та належно налаштовані датчики та виконавчі пристрої є ключовим чинником успіху системи автоматизації, що дозволяє забезпечити стабільне та ефективно вирощування рослин в умовах гідропоніки.

Датчик освітленості на основі фоторезистора GL5528 використовується для вимірювання рівня освітленості навколишнього середовища. Фоторезистор GL5528 є світлочутливим елементом, який змінює своє значення опору в залежності від інтенсивності світла, що на нього падає. Загальний вид модуля датчика освітленості представлено на рисунку 2.2, а технічні характеристики представлено у таблиці 2.2.

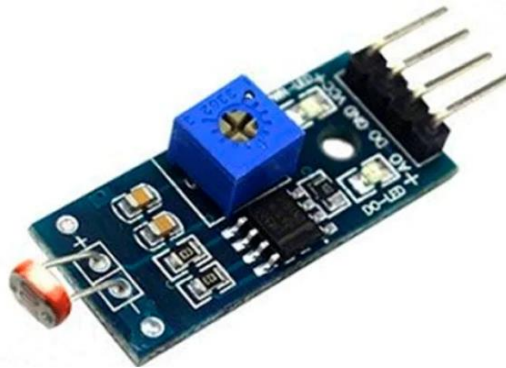


Рисунок 2.2 – Датчик освітленості на основі фоторезистора GL5528 [12]

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчик освітленості на основі фоторезистора GL5528

Характеристика	Значення
Тип фоторезистора	Герметичний
Спектральна чутливість	540 нм
Опір в темряві	Приблизно 1 МОм
Опір при освітленні	Приблизно 10 кОм
Діаметр	5 мм
Максимальний струм	100 мА
Максимальне напруга	100 В
Температурний діапазон	-30 °С до +70 °С
Тип вихідного сигналу	Аналоговий і цифровий

Вибір фоторезистора GL5528 для системи автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин обґрунтований його технічними

характеристиками, які відповідають вимогам даного застосування. Цей фоторезистор має спектральну чутливість приблизно 540 нм, що важливо для фотосинтезу рослин. Він може працювати в широкому діапазоні температур від -30 °С до +70 °С, що відповідає умовам гідропоніки. Також, він може працювати з аналоговими входами, що робить його легко інтегрованим в систему керування параметрами гідропонного вирощування. Точність вимірювання вологості становить  $\pm 3\%$  RH при 25 °С, що забезпечує надійні дані для керування освітленістю в зоні вирощування рослин. Крім того, цей фоторезистор є економічно вигідним вибором, оскільки його вартість є досить низькою [12].

Для вимірювання вологості ґрунту у розробляемій системі автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин, пропонується використовувати ємнісний датчик вологості ґрунту від DFRobot [13]. Загальний вид датчика представлено на рисунку 2.3, а його технічні характеристики приведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3 – Загальний вид ємнісного датчика вологості ґрунту від DFRobot

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики ємнісного датчика вологості ґрунту від DFRobot

Характеристика	Значення
1	2
Модель	DFRobot ємнісний датчик вологості ґрунту
Напруга живлення	3,3 В – 5 В
Вихід	Аналоговий

## Продовження таблиці 2.3

1	2
Діапазон вимірювання	0 – 100 % RH
Точність вимірювання	$\pm 3$ % RH (при 25 °C)
Температурний діапазон	0 °C – 50 °C
Інтерфейс	Аналоговий
Розміри	60 мм x 20 мм

Вибір ємнісного датчика вологості ґрунту від DFRobot для системи автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин обґрунтовується кількома ключовими перевагами. По-перше, такий датчик дозволяє вимірювати вологість ґрунту безпосередньо, що важливо для контролю за умовами росту рослин. По-друге, він має широкий діапазон робочих температур, що робить його придатним для використання в різних кліматичних умовах. Крім того, ємнісний датчик вологості ґрунту є досить точним і надійним, що важливо для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Він також має простий у використанні аналоговий вихід, що дозволяє легко інтегрувати його в систему керування. Крім того, він є економічно вигідним вибором, оскільки має доступну ціну [13].

Для вимірювання температури та вологості пропонується використовувати модуль GY-213V-HTU21D. Загальний вид датчика представлено на рисунку 2.4, а його технічні характеристики приведено в таблиці 2.4.

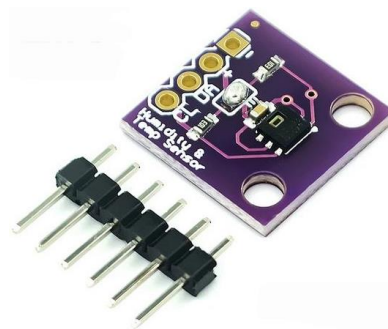


Рисунок 2.4 – Загальний вид модуля вимірювання температури та вологості GY-213V-HTU21D [14]

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики модуля вимірювання температури та вологості GY-213V-HTU21D

Характеристика	Значення
Чутливість до температури	$\pm 0,3$ °C (від -40 °C до +125 °C)
Чутливість до вологості	$\pm 3$ % RH (при 25 °C)
Робоча напруга	1,5 В – 3,6 В
Споживана потужність	2,7 мВт (в режимі вимірювання)
Інтерфейс	I2C (адрес 0 x 40)
Робоча температура	-40 °C до +125 °C
Діапазон вимірювання вологості	0 % – 100 % RH
Розміри	0 % – 100 % RH

Вибір модуля вимірювання температури та вологості GY-213V-HTU21D для розробки системи автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин обґрунтований кількома ключовими факторами. По-перше, цей модуль має високу точність вимірювання температури ( $\pm 0,3$  °C) і вологості ( $\pm 3$  % RH), що є важливим для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. По-друге, він працює в широкому діапазоні температур (-40 °C до +125 °C), що дозволяє використовувати його в різних умовах вирощування. Крім того, модуль має низьке споживання потужності (2,7 мВт у режимі вимірювання), що дозволяє економно використовувати енергію. Його інтерфейс I2C робить його легко інтегрованим з іншими компонентами системи автоматизації. Невеликі розміри (15,5 мм x 12 мм x 3 мм) і легка вага (1 г) роблять його зручним у використанні та монтажі [14].

Відповідно до розробленої структурної схеми системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин (рис. 2.1), проведемо вибір виконавчих пристрів. У системі автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин виконуючі пристрої – це елементи, які здійснюють фізичні або механічні дії на основі отриманих даних та встановлених алгоритмів. Їхнє призначення полягає у контролі та регулюванні параметрів середовища, що впливають на ріст та розвиток рослин в гідропоніці.

Насоси для поливу в системі автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин відіграють важливу роль у забезпеченні оптимальних умов для росту і розвитку рослин. Вони дозволяють автоматично поливати рослини згідно з заданим графіком, що є критичним для забезпечення рослин водою та поживними розчинами вчасно та в правильній кількості. Рівномірний розподіл води та поживних розчинів по всій системі гідропоніки допомагає уникнути пересихання або перезволоження рослин, що може негативно позначитися на їхньому здоров'ї та рості. Крім того, система автоматичного поливу забезпечує економію води, оптимізуючи її використання та зменшуючи витрати. Насоси можуть бути підключені до системи керування, що дозволяє віддалено контролювати полив рослин. Внаслідок цього рекомендується обрати насос водяний занурювальний міні помпа (2,5 В – 6 В, до 1,5 Вт, 2 л/хв.), загальний вид якого представлено на рисунку 2.5, а його технічні характеристики в таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – Загальний вид водяного занурювального насосу (2,5 В – 6 В, до 1,5 Вт, 2 л/хв) [15]

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики водяного занурю вального насосу (2,5 В – 6 В, до 1,5 Вт, 2 л/хв)

Характеристика	Значення
Напруга живлення	2,5 В – 6 В
Потужність	До 1,5 Вт
Продуктивність	2 л/хв

Вибір водяного занурювального насосу з напругою живлення від 2,5 В до 6 В, потужністю до 1,5 Вт і продуктивністю 2 л/хв для системи автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин обґрунтований кількома важливими аспектами. По-перше, такий насос має оптимальні технічні характеристики для забезпечення рослин водою і поживними розчинами у гідропонній системі. Його продуктивність дозволяє регулювати рівень поливу з урахуванням потреб кожного типу рослин. По-друге, широкий діапазон напруги живлення (2,5 В – 6 В) робить його сумісним з різними джерелами живлення, що забезпечує гнучкість в виборі компонентів системи. Крім того, його невелика потужність (до 1,5 Вт) дозволяє економно використовувати електроенергію. Використання такого насосу сприяє автоматизації процесу поливу, забезпечує рівномірний розподіл води і поживних розчинів по системі, що позитивно впливає на здоров'я та розвиток рослин [15].

Вентилятор може бути важливим виконавчим пристроєм у системі автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин. Його основне призначення – забезпечення вентиляції та регулювання температури в умовах, де це необхідно для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Вентилятор 50 мм х 50 мм х 12 мм (5 В, 0,15 А) може використовуватися для створення потоку свіжого повітря, що сприяє вентиляції ґрунту та покращує обмін газів, включаючи вуглекислий газ та кисень, що може позитивно впливати на фотосинтез та розвиток кореневої системи. Також, вентилятор може бути використаний для розподілу CO<sub>2</sub> у вирощувальній камері, що підвищує продуктивність рослин. Завдяки роз'єму JST ХН 2.54-02Р, вентилятор може бути легко підключений до системи керування, що дозволяє автоматизувати його роботу в залежності від потреб рослин та умов вирощування. Таким чином, використання вентилятора у системі гідропонного вирощування може допомогти підтримувати стабільні та оптимальні умови для росту рослин, що в свою чергу може позитивно

впливати на їхній розвиток та врожайність [16]. Загальний вид вентилятору представлено на рисунку 2.6, а його технічні параметри в таблиці 2.6.



Рисунок 2.6 – Загальний вид вентилятору 50 x 50 x 12 мм (5 В, 0,15 А) [16]

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики вентилятору 50 x 50 x 12 мм (5 В, 0,15 А)

Характеристика	Опис
Розмір	50 мм x 50 мм x 12 мм
Напруга живлення	5 В
Розйом	JST XH 2.54-02P
Матеріал	пластик

### 2.3 Вибір модуля мікроконтролера для реалізації системи керування

При виборі мікроконтролера для реалізації системи керування системи автоматизації параметрів гідропонного вирощування рослин необхідно врахувати кілька ключових параметрів. По-перше, потрібно врахувати потужність обробки даних та можливості забезпечення потрібних швидкостей обміну даними з датчиками та виконавчими органами. Мікроконтролер повинен мати достатньо ресурсів для обробки зображень з камери та керування різними пристроями в системі. Далі, важливо врахувати наявність необхідних інтерфейсів для підключення камери та інших пристроїв, таких як шина I2C, SPI або UART для підключення датчиків та виконавчих органів. Також, варто врахувати підтримку мережевого зв'язку,

якщо потрібно забезпечити віддалений доступ до системи або зв'язок з іншими пристроями. Крім того, важливо обрати мікроконтролер з низьким споживанням енергії, щоб забезпечити ефективне використання електроенергії у системі. Інші фактори, які слід врахувати, це наявність відкритих джерел програмного забезпечення та документації для спрощення розробки та підтримки системи, а також вартість мікроконтролера, яка повинна бути в межах бюджету проекту. Виходячи з вище перерахованих вимог до системи керування гідропонного вирощування рослин, загальний вид модуля представлено на рисунку 2.7, а його технічні характеристики представлено в таблиці 2.7.



Рисунок 2.7 – Загальний вид модуля ESP32-Cam [17]

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля ESP32-Cam

Характеристика	Опис
Мікроконтролер	ESP32 (двоядерний Tensilica LX6)
Частота процесора	до 240 МГц
Flash пам'ять	4 МБ
Інтерфейс	UART, SPI, I2C, I2S, CAN, Ethernet
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2,4 ГГц)
Bluetooth	Bluetooth 4.2 BLE
Камера	OV2640 (2 Мп, 24-бітний цифровий вихід)
Відео вихід	Розмір до QVGA (320 x 240 пікселів)
Напруга живлення	5 В
Споживана потужність (в режимі сну)	< 20 мА
Розміри	27 мм x 40,5 мм

ESP32-Cam є відмінним вибором для модуля керування системою гідропонного вирощування рослин з кількох причин. По-перше, його потужний двоядерний процесор забезпечує достатню продуктивність для обробки даних в реальному часі, що є важливим для ефективного керування системою. Крім того, наявність бездротових можливостей, таких як Wi-Fi і Bluetooth, дозволяє забезпечити зв'язок з іншими пристроями та віддалений моніторинг та управління системою. Вбудована камера дозволяє використовувати модуль для відеоспостереження над рослинами та середовищем, що може бути корисним для моніторингу росту рослин та виявлення проблем. Низька вартість ESP32-Cam робить його доступним для проектів з обмеженим бюджетом, а його гнучкість та розширюваність, завдяки різним вбудованим інтерфейсам, дозволяють підключати різноманітні датчики та виконавчі пристрої. Крім того, низьке споживання енергії в режимі сну ESP32-Cam дозволяє зберігати заряд акумулятора у системах з живленням від акумуляторів, що може бути важливим для мобільних або віддалених систем [17]. Внаслідок чого, проведемо аналіз роз'ємів підключення модуля ESP32-Cam, які представлено на рисунку 2.8.

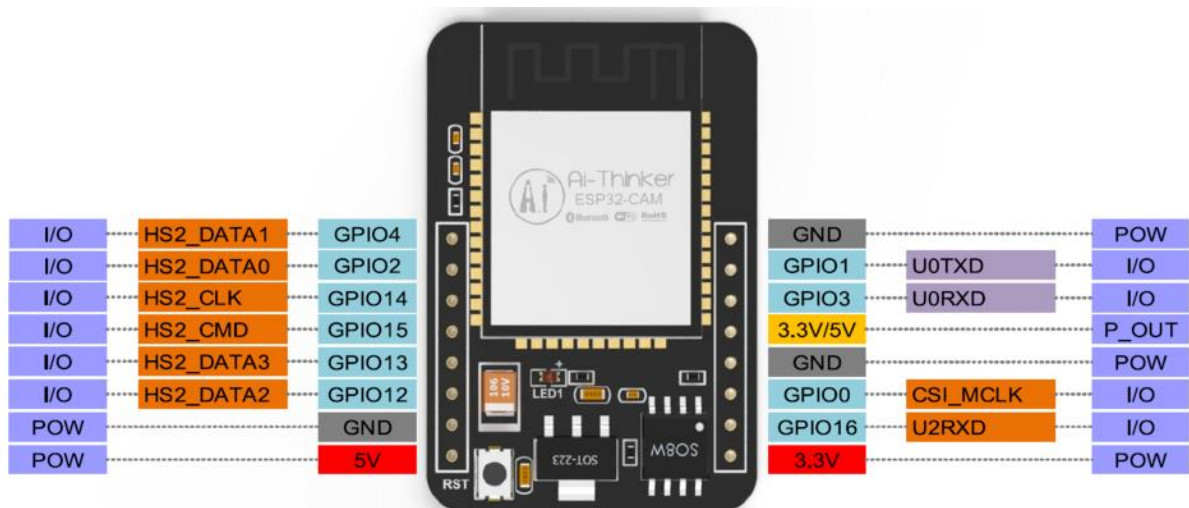


Рисунок 2.8 – Призначення пінів шини GPIO для модуля ESP32-Cam

Як можна бачити з рисунку 2.8, на шині GPIO для модуля ESP32-Cam, відсутні аналоговий входи, внаслідок чого, багато аналогів датчиків неможливо підключити до даного модуля. Виходячи з цього потрібно використовувати модуль розширення пінів підключення обраних аналогів датчиків в підрозділі 2.2. Для вирішення цієї задачі потрібен модуль, який можна підключити до модуля ESP32-Cam через шини GPIO по інтерфейсу I2C або SPI. На базі проведеного аналізу було прийнято рішення, модуль ADS1115. Модуль ADS1115 від DFRobot є високоякісним аналого-цифровим перетворювачем, який має декілька переваг для використання в системах з вимірюванням аналогових сигналів [18]. Його основна перевага – це висока роздільна здатність 16 біт, що дозволяє отримувати дуже точні вимірювання. Це особливо важливо для додатків, де необхідно вимірювати низькі аналогові сигнали з високою точністю. Крім того, модуль має низький рівень шуму, що дозволяє отримувати чисті вимірювання навіть в умовах високої шумової підвищеності. Загальний вид модуля ADS1115 представлено на рисунку 2.9, а його технічні характеристики в таблиці 2.8.

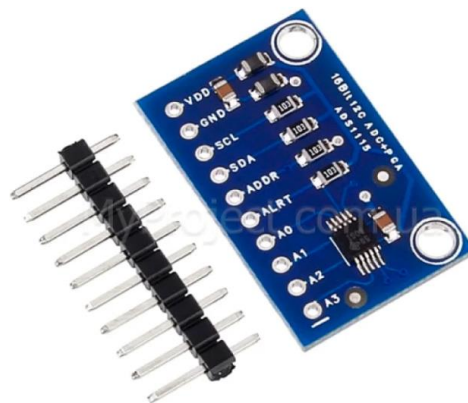


Рисунок 2.9 – Загальний вид модуля ADS1115 [18]

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики модуля ADS1115

Параметр	Значення
1	2
Роздільна здатність	16 біт
Кількість каналів	4
Інтерфейс зв'язку	I2C

Продовження таблиці 2.9

1	2
Діапазон напруги вхідний	0 В – 5 В
Швидкість зчитування	до 860 зразків/с
Рівень шуму	до 0,4 мВ
Споживання енергії	до 0,15 мА при 3,3 В
Робоча температура	-40 °С до +125 °С
Розмір	2,9 мм х 2,8 мм

Модуль ADS1115 є ідеальним вибором для розширення можливостей ESP32-Cam у зборі та обробці даних від датчиків. Його висока роздільна здатність і низький рівень шуму дозволяють отримувати точні вимірювання аналогових сигналів, що особливо корисно в умовах, коли необхідно вимірювати слабкі сигнали або забезпечити високу точність вимірювань. Крім того, ADS1115 має чотири аналогових канали, що дозволяє підключати до нього декілька датчиків одночасно, що робить його дуже гнучким у використанні для керування системою гідропонного вирощування рослин .

#### 2.4 Розробка схеми підключення

Розробка схеми підключення апаратних модулів та датчиків для керування системою гідропонного вирощування рослин є ключовою для оптимізації роботи системи, забезпечення стабільності та безпеки її функціонування. Ця схема також дозволяє забезпечити масштабованість системи і зручність управління нею. Вона грає важливу роль у забезпеченні ефективного обміну даними між модулями та контролером, а також у забезпеченні надійності та ефективності роботи всієї системи. Виходячи з розробленої структурної схеми системи автоматизації параметрами гідропонного вирощування рослин (рис. 2.1) та обраних датчиків, виконавчих пристроїв та мікроконтролерного модуля для реалізації системи керування, була розроблена наступна схема підключення, яка представлена на рисунку 2.10.

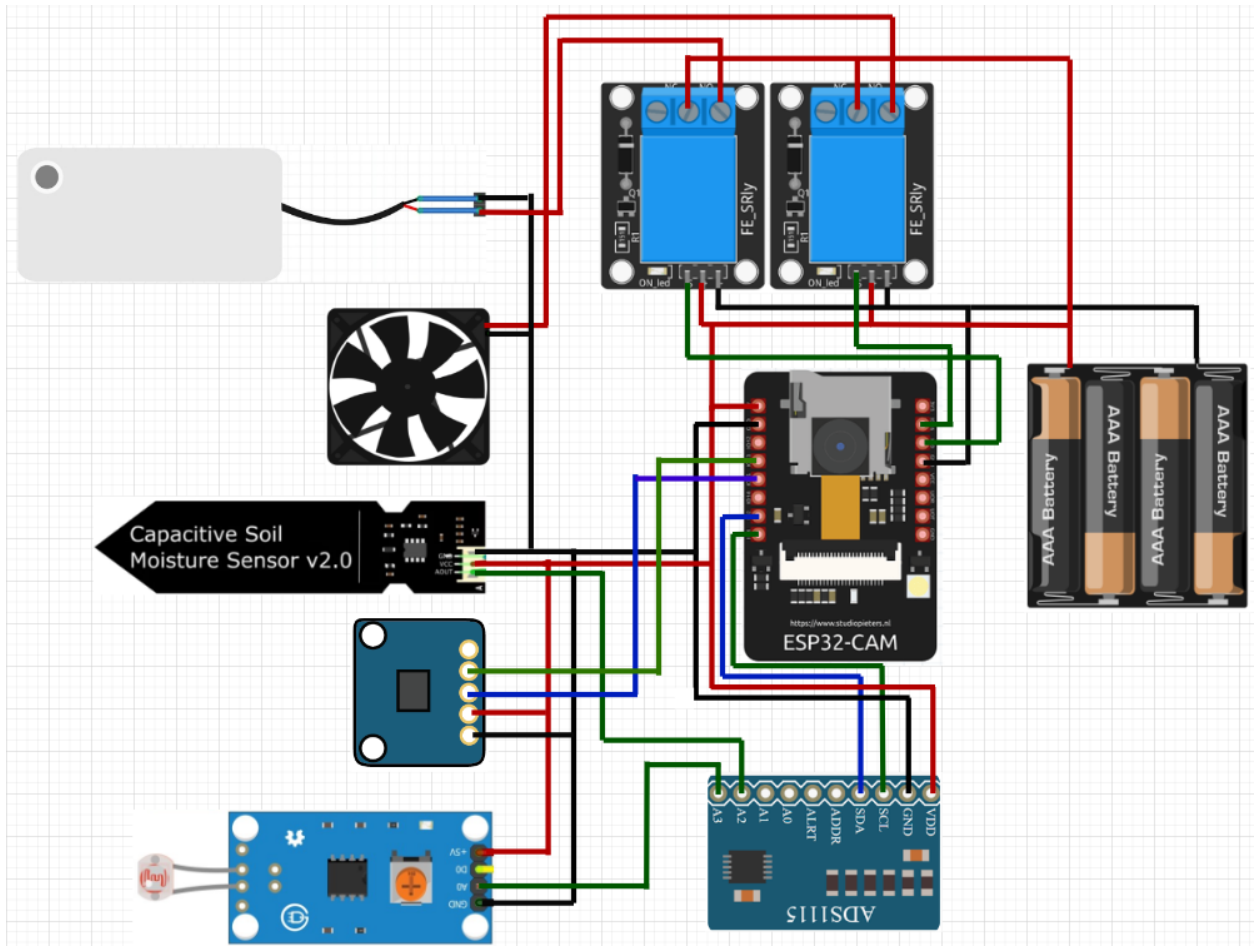


Рисунок 2.10 – Схема підключення модулів системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин

Принцип роботи розробленої системи гідропонного вирощування рослин з вказаними елементами базується на зборі та аналізі даних з датчиків для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Датчик освітленості GL5528 вимірює рівень освітленості та дозволяє контролювати тривалість та інтенсивність освітлення для рослин. Датчик вологості ґрунту від DFRobot вимірює вологість ґрунту, що дозволяє визначити необхідність поливу. Модуль вимірювання температури та вологості GY-213V-HTU21D вимірює температуру та вологість повітря, що також важливо для росту рослин [5].

Водяний занурювальний насос використовується для поливу рослин і керується реле для включення/виключення. Вентилятор використовується для циркуляції повітря навколо рослин і також керується реле. Модуль

ESP32-Cam використовується для керування всією системою та збору даних з датчиків. Модуль ADS1115 використовується для розширення можливостей аналогового вводу для ESP32-Cam.

Вся система живиться від акумуляторів 5 В, що забезпечує мобільність та незалежність від мережі живлення. Зібрані дані з датчиків аналізуються мікроконтролером ESP32-Cam, який при необхідності управляє насосом, вентилятором та реле для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. В результаті цієї системи забезпечується автоматичне та оптимальне керування параметрами гідропонного вирощування рослин [5].

## 2.5 Розрахунки часу та споживання води для системи автоматизації гідропонного вирощування рослин

Проведення розрахунків часу та споживання води для системи автоматизації гідропонного вирощування рослин полягає у визначенні оптимальних параметрів поливу для кожної ділянки. Спочатку потрібно визначити площу поливу та необхідну частоту поливу для кожної ділянки. Для цього використовуються дані з датчиків вологості ґрунту та температури, а також вимоги конкретних видів рослин. Далі визначається витрата води на одиницю площі за один цикл поливу. Це залежить від типу насоса та форсунок, а також від розміру капель води. Час поливу обчислюється як відношення необхідного обсягу води до витрати води на одну хвилину. Кількість води для всієї системи розраховується як сума витрати води на кожну ділянку помножена на кількість ділянок. Таким чином, проведення розрахунків дозволяє визначити оптимальний графік поливу та забезпечити ефективне використання водних ресурсів. Для розрахунків часу та витрати води для системи автоматизації гідропонного вирощування рослин потрібно враховувати кілька ключових факторів. По-перше, важливо визначити площу поливу та рівень вологості ґрунту, який

відповідає оптимальним умовам для росту рослин. Для цього використовуються дані з датчиків вологості ґрунту. Далі необхідно визначити витрату води на одиницю площі за один цикл поливу. Це залежить від типу насосу та форсунок, що використовуються в системі. Час поливу обчислюється як відношення необхідного обсягу води до витрати води на одну хвилину. Це дозволяє визначити тривалість кожного циклу поливу для кожної ділянки. Кількість води для всієї системи розраховується як сума витрати води на кожен ділянку, помножена на кількість ділянок у системі. Проведення таких розрахунків дозволить вам ефективно використовувати водні ресурси та забезпечити оптимальні умови для росту рослин у гідропонній системі [6].

Для проведення розрахунків потрібно знати площу поливу та час поливу на одну ділянку (рис 2.1). Давайте припустимо, що площа поливу складає 1 квадратний метр і час поливу для однієї ділянки становить 10 хвилин. Виходячи з цього, об'єм води для поливу однієї ділянки, можна розрахувати наступним чином:

$$V_{area} = S_{aterin} \cdot T_{aterin}, \quad (2.1)$$

де  $V_{area}$  – об'єм води для поливу однієї ділянки;

$S_{aterin}$  – швидкість поливу, л/хв;

$T_{aterin}$  – час поливу, хв.

$$V = S_{aterin} \cdot T_{aterin} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ л.}$$

Для розрахунку часу та споживання води на всю площу, потрібно знати кількість ділянок. Припустимо, що площа для поливу складає 100 квадратних метрів і розмір ділянки 1 квадратний метр, тоді:

$$N_{lots} = S_{irriate} / S_{area}, \quad (2.2)$$

де  $N_{lots}$  – кількість ділянок, шт.;

$S_{irriate}$  – площа поливу, м<sup>2</sup>;

$S_{area}$  – площа ділянки, м<sup>2</sup>.

$$N_{lots} = S_{irriate} / S_{area} = 100 / 1 = 100.$$

Внаслідок чого, час поливу для всієї площі можливо розрахувати наступним образом:

$$T_{aterin} = T_{lots} \cdot N_{lots}, \quad (2.3)$$

де  $T_{aterin}$  – час поливу, хв;

$T_{lots}$  – час поливу на одну ділянку, хв;

$N_{lots}$  – кількість ділянок, шт.

$$T_{aterin} = T_{lots} \cdot N_{lots} = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ хв} = 16 \text{ год } 40 \text{ хв.}$$

Виходячи з цього можливо розрахувати об'єм води для всієї площі, з наступної формули:

$$V_{all} = V_{area} \cdot N_{lots}, \quad (2.4)$$

де  $V_{all}$  – об'єм води для всієї площі гідропонного вирощування рослин;

$V_{area}$  – об'єм води для поливу однієї ділянки;

$N_{lots}$  – кількість ділянок, шт.

$$V_{all} = V_{area} \cdot N_{lots} = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ л.} \quad (2.5)$$

Використання водяного занурювального насоса з параметрами 2,5 В – 6 В, до 1,5 Вт і швидкістю 2 л/хв для поливу має свої переваги та недоліки в умовах, коли потрібно налити 2000 літрів води на участок за швидкістю 2 л/хв протягом 1000 хвилин або 16 годин і 40 хвилин. Однією з переваг є низька споживана потужність, що робить насос економічним у використанні електроенергії. Також важливою перевагою є висока швидкість поливу, що дозволяє ефективно забезпечувати вологою великі площі. Крім того, широкий діапазон живлення від 2,5 В до 6 В робить цей насос універсальним для використання з різноманітними джерелами живлення.

Проте важливо врахувати обмеження, зокрема, об'єм резервуару для води. При великих площах поливу може знадобитися додаткове заповнення, що може бути незручним у використанні. Також важливим недоліком є те, що для живлення насоса потрібна напруга 5 В, що може вимагати додаткових перетворювачів напруги для живлення. У цілому, використання даного насоса може бути ефективним рішенням для поливу в умовах гідропонного вирощування рослин, проте слід врахувати його обмеження та здатність відповідати конкретним вимогам та умовам використання.

## 2.6 Збірка макету системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин

Відповідно до розробленої структурної схеми (рис. 2.1) та схеми підключення всіх апаратних модулів та виконавчих пристроїв (рис. 2.10), було зібрано тестовий макет системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин з використанням макетної плати для налагодження програмного програмне забезпечення та проведення експериментів. Розроблений макет системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин представлено на рисунку 2.11.

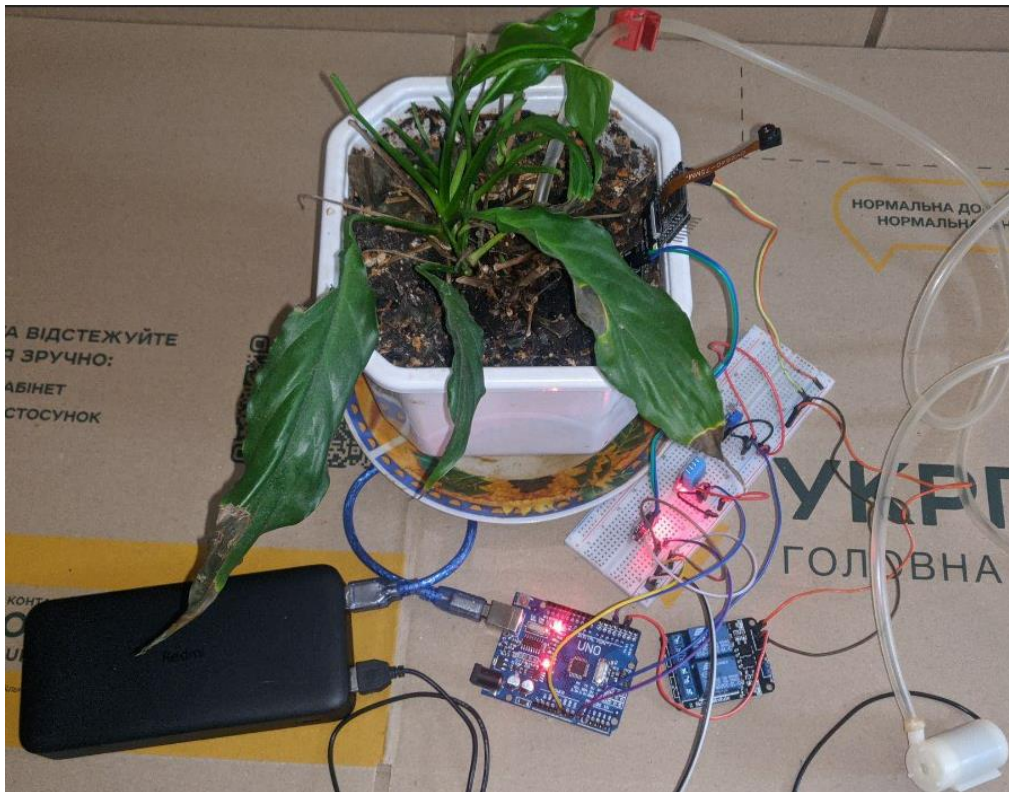


Рисунок 2.11 – Розроблений макет системи автоматизації для гідропонного вирощування рослин

## 2.7 Розрахунок передавальних функцій

Об'єктом керування в даній роботі є гідропонна система вирощування рослин, яка включає контроль температури, вологості, освітлення та поливу для забезпечення оптимальних умов росту. Елементами системи керування є: датчики вологості ґрунту, температури та вологості повітря, світловий сенсор, ESP32-Cam для відеомоніторингу, реле для керування вентилятором та насосом, а також мікроконтролер, який обробляє дані з датчиків і виконує керуючі дії. Запропонована система керування використовує ESP32-Cam як мікроконтролер, що приймає дані з датчиків та керує виконавчими механізмами (вентилятором і насосом) відповідно до заздалегідь встановлених параметрів. Відеотрансляція з ESP32-Cam дозволить здійснювати віддалений моніторинг через веб-інтерфейс, забезпечуючи повний контроль над системою в реальному часі. Структурна схема

керування на базі теорій автоматичного керування можна представити наступним чином, як це показано на рисунку 2.12.

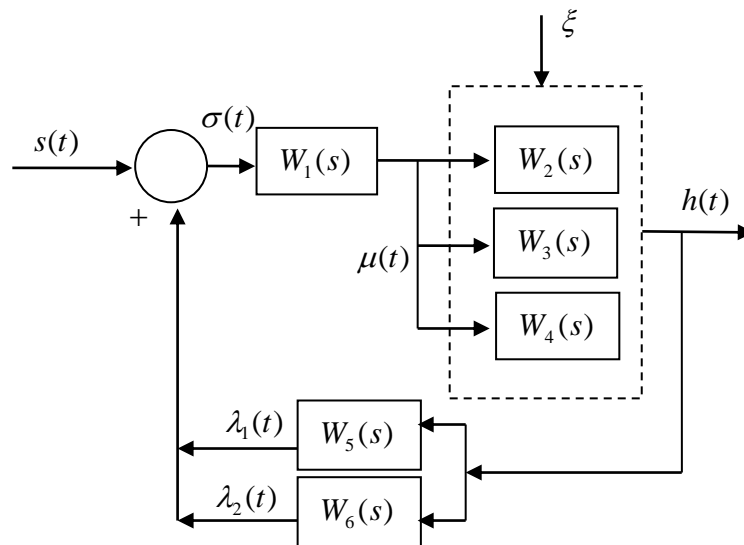


Рисунок 2.12 – Структурна схема керування

Опишемо призначення всіх елементів розробленої структурної схеми керування.  $W_1(s)$  – передавальна функція модуля керування (ESP32-Cam),  $W_2(s), \dots, W_4(s)$  – передавальні функції сенсорів,  $W_5(s), W_6(s)$  – передавальні функції виконавчих пристроїв. На вхід подається сигнал  $s(t)$  – керуючий ідеальний сигнал, з якого за допомогою від’ємного суматора вичислюється сигнали  $\lambda_1(t)$  та  $\lambda_2(t)$ , що отримуються після впливу виконавчих пристроїв.  $\xi$  – сигнал зовнішнього впливу на датчики ( $W_2(s), \dots, W_4(s)$ ).  $h(t)$  – перехідна характеристика системи, за якою можна відслідкувати її стійкість.

Відповідно до розробленої структурної схеми знайдемо часові й частотні характеристики динамічних ланок САУ. За даним диференціальним рівнянням динамічної ланки записати його передаточну функцію за Лапласом  $W(s)$  і комплексну передаточну функцію  $W(j\omega)$ . Використовуючи теорему розкладу (за необхідністю), визначити перехідну функцію  $h(t)$  і побудувати перехідну характеристику ланки. Представимо в рамках

дослідження системи, що передаточна функція датчика  $W_2(s), \dots, W_4(s)$  можна представити у наступному вигляді:

$$W(s) = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (2.6)$$

де  $K$  – коефіцієнт посилення,  $10 \text{ с}^{-1}$ ;

$T$  – постійна часу,  $0,5 \text{ с}$ .

Знайдемо комплексну передаточну функцію, шляхом зміни  $s \rightarrow j\omega$ , що дозволяє отримати комплексну передаточну функцію  $W(j\omega)$ . Для знаходження частотних характеристик необхідно, позначити через  $\Re(W(j\omega))$  – дійсну частотну функцію та уявну частотну функцію  $\Im(W(j\omega))$ . Виходячи з цього, амплітудна частотна функція буде мати наступний вигляд:

$$|W(j\omega)| = \sqrt{(\Re(W(j\omega)))^2 + (\Im(W(j\omega)))^2}, \quad (2.7)$$

де  $\Re(W(j\omega))$  – дійсна частотна функція;

$\Im(W(j\omega))$  – уявна частотна функція.

Внаслідок чого, фазову частотну функцію можна описати наступним чином:

$$\phi(\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{\Im(W(j\omega))}{\Re(W(j\omega))}\right), \quad (2.8)$$

де  $\Re(W(j\omega))$  – дійсна частотна функція;

$\Im(W(j\omega))$  – уявна частотна функція.

Проведемо розрахунки відповідно до заданих параметрів:  $K$  – коефіцієнт посилення,  $10 \text{ с}^{-1}$ ,  $T$  – постійна часу,  $0,5 \text{ с}$ . Внаслідок чого, передаточна функція буде мати наступний вигляд:

$$W(s) = 10 / (0,5s + 1). \quad (2.9)$$

Комплексна передаточна функція:

$$W(j\omega) = 10 / (0,5j\omega + 1). \quad (2.10)$$

Амплітудна частотна функція:

$$|W(j\omega)| = 10 / \sqrt{(0,5\omega)^2 + 1}. \quad (2.11)$$

Фазова частотна функція:

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} (-0,5\omega / 1). \quad (2.12)$$

Дані розрахунки дають можливість визначити перехідні та частотні характеристики динамічних ланок системи автоматичного управління. Ці характеристики важливі для аналізу та синтезу САУ, що дозволяє забезпечити бажану динаміку системи та стабільність роботи.

Щоб визначити, чи є система стійкою, ми можемо скористатися критеріями стійкості, такими як критерій стійкості Рауса-Гурвіца або аналіз полюсів передаточної функції:

$$W(s) = 10 / (0,5s + 1). \quad (2.13)$$

Для аналізу стійкості важливо знайти корені знаменника передаточної функції, тобто полюси системи. Полюси визначаються коренями характеристичного рівняння, яке виходить із знаменника передаточної функції:

$$0,5s + 1 = 0.$$

Знайдемо корінь цього рівняння, яка дорівнює:  $s = -1 / 0,5$ ,  $s = -2$ .  
Полюс системи знаходиться в лівій півплощині комплексної площини (має від'ємну дійсну частину):  $s = -2$ . Для системи з одним полюсом, якщо цей полюс має від'ємну дійсну частину, система є стійкою.

## **3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ АПАРАТНИМ МОДУЛЕМ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРАМИ ГІДРОПОННОГО ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН**

### **3.1 Обґрунтування та вибір середовища розробки**

Вибір середовища розробки програмного забезпечення для керування апаратним модулем контролю параметрів гідропонного вирощування рослин на базі ESP32-Cam є важливим кроком у проекті. Один з найбільш розповсюджених та популярних середовищ для розробки програмного забезпечення для ESP32-Cam – Arduino IDE. Це середовище має простий інтерфейс, що дозволяє швидко створювати програми для ESP32-Cam навіть для початківців.

Arduino IDE підтримує різні типи плат ESP32, включаючи ESP32-Cam, що робить його відмінним вибором для розробки програмного забезпечення для керування модулем контролю. Крім того, у Arduino IDE є велика спільнота користувачів та розробників, що дозволяє швидко знаходити відповіді на питання та отримувати підтримку у вирішенні проблем.

Для розробки програмного забезпечення для ESP32-Cam також можна використовувати середовища, такі як PlatformIO, яке надає більше можливостей для організації проекту та керування бібліотеками. PlatformIO підтримує не тільки ESP32-Cam, а й інші платформи, що може бути корисним у випадку розширення проекту на інші пристрої.

Вибір середовища розробки Arduino IDE для створення програмного забезпечення для керування апаратним модулем контролю параметрів гідропонного вирощування рослин на базі ESP32-Cam був обґрунтований декількома важливими причинами. По-перше, Arduino IDE є одним з найпоширеніших та добре відомих середовищ розробки для платформи

ESP32, що спрощує процес розробки та дозволяє швидко створювати прототипи програмного забезпечення. Крім того, Arduino IDE має простий інтерфейс, що робить його дружнім для початківців та досвідчених розробників.

Друга причина – це велика спільнота користувачів Arduino IDE, яка надає підтримку, поради та готові приклади коду для швидкого розвитку проектів. Це дозволяє вирішувати можливі проблеми швидко та ефективно, зменшуючи час на розробку програмного забезпечення.

Крім того, Arduino IDE підтримує широкий спектр бібліотек та додаткових модулів, що дозволяє легко і швидко інтегрувати різноманітні сенсори, пристрої введення-виведення та інші компоненти для керування параметрами гідропонного вирощування рослин. А також, є безкоштовним і відкритим для використання, що робить його доступним для широкого кола розробників. Це знижує витрати на розробку програмного забезпечення та дозволяє більш швидко та ефективно розвивати проекти.

Узагальнюючи, вибір Arduino IDE для розробки програмного забезпечення для керування апаратним модулем контролю параметрів гідропонного вирощування рослин на базі ESP32-Cam є обґрунтованим через його поширеність, простоту використання, підтримку спільноти та доступність.

### 3.2 Розробка загального алгоритму роботи системи гідропонного вирощування рослин

Розробка загального алгоритму роботи системи гідропонного вирощування рослин має важливе значення з ряду причин. По-перше, такий алгоритм дозволяє систематизувати та узагальнити процес управління рослинами, що сприяє покращенню їх росту та розвитку. По-друге, наявність загального алгоритму спрощує розуміння та взаємодію з системою для

користувачів та розробників. Такий алгоритм може включати в себе керування освітленістю, поливом та вентиляцією на основі зчитаних даних з датчиків, а також передачу інформації про стан системи на зовнішній сервер або моніторинг через веб-інтерфейс. Крім того, розробка загального алгоритму дозволяє впроваджувати нові функції та покращення з врахуванням потреб кінцевих користувачів та ринкових умов, що забезпечує конкурентні переваги продукту на ринку. Розроблений загальний алгоритм роботи гідропонного вирощування рослин, представлений на рисунку 3.1.

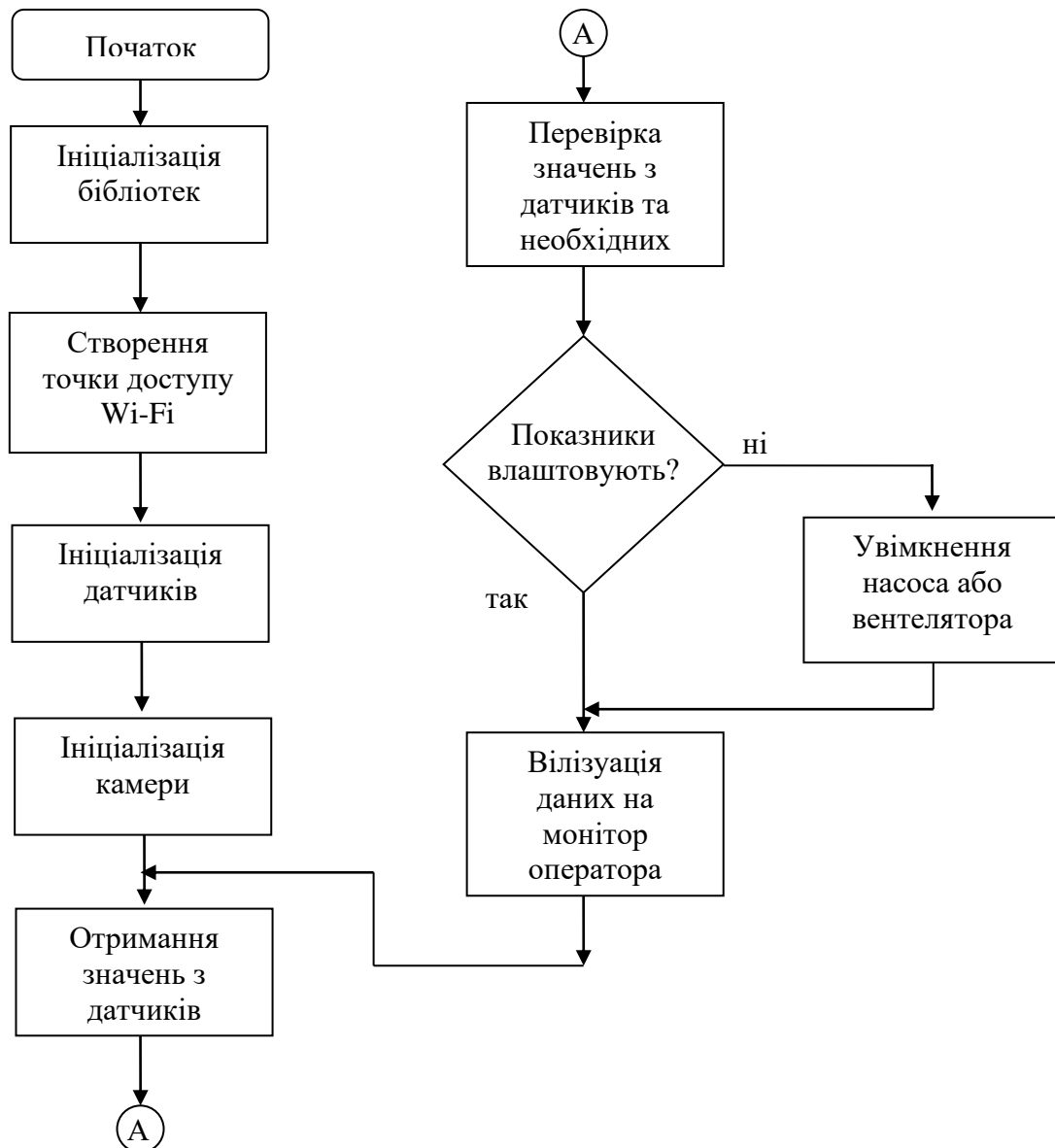


Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм роботи гідропонного вирощування рослин

Опишемо призначення кожного блоку в розробленому загальному алгоритму роботи гідропонного вирощування рослин (рис. 3.1).

Ініціалізація бібліотек у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин необхідна для забезпечення коректної роботи всіх компонентів системи. Бібліотеки використовуються для взаємодії з різними пристроями та сенсорами, обробки даних, управління виводами та забезпечення інших функцій. Ініціалізація бібліотек дозволяє підготувати систему до роботи, встановити необхідні налаштування та забезпечити сумісність між різними компонентами. Такий підхід спрощує програмування та підтримку системи, а також дозволяє швидко впроваджувати зміни та розширювати функціонал у майбутньому.

Створення точки доступу Wi-Fi на базі ESP32-Cam у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин дозволяє забезпечити можливість віддаленого доступу та керування системою через мережу Wi-Fi. Це дозволяє користувачам моніторити та управляти системою з будь-якого місця, де є доступ до мережі Wi-Fi. Створення точки доступу Wi-Fi на ESP32-Cam забезпечує зручний спосіб взаємодії з системою без прив'язки до фізичного підключення через кабель. Такий підхід робить систему більш гнучкою та зручною у використанні, що особливо важливо для вирощування рослин, де потрібно постійно контролювати та підтримувати оптимальні умови росту [5].

Ініціалізація датчиків у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин відіграє важливу роль у забезпеченні правильного та ефективного функціонування системи. Під час ініціалізації датчики готуються до роботи шляхом налаштування параметрів та встановлення зв'язку з мікроконтролером. Це дозволяє системі отримувати дані з датчиків для подальшого аналізу та управління режимами роботи. Ініціалізація датчиків також допомагає виявити можливі проблеми з підключенням або роботою датчиків ще до початку роботи системи, що

дозволяє уникнути неполадок та забезпечити безперебійну роботу. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільну та ефективну роботу системи гідропонного вирощування рослин, забезпечуючи оптимальні умови для їх росту та розвитку.

Ініціалізація камери на ESP32-Cam у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин є важливою для забезпечення можливості віддаленого моніторингу та контролю за рослинами. Під час ініціалізації камери встановлюються параметри зображення, такі як роздільна здатність, кадрова частота та інші налаштування, необхідні для отримання якісних зображень. Ініціалізація камери дозволяє також налаштувати передачу відеопотоку через мережу Wi-Fi для віддаленого перегляду зображень у реальному часі. Це дозволяє користувачам відслідковувати ріст та розвиток рослин, а також вчасно реагувати на можливі проблеми. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективне вирощування рослин у гідропонній системі та зробити процес керування ним більш зручним та доступним.

Отримання значень з датчиків у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин є ключовим етапом, оскільки ці значення визначають подальші дії системи. Дані, зчитані з датчиків, використовуються для визначення поточного стану середовища, у якому знаходяться рослини. Наприклад, значення освітленості допомагають визначити, чи достатньо світла для росту рослин, а вологість ґрунту вказує на потребу у поливі. Температура та вологість повітря також важливі для забезпечення комфортних умов для рослин. Отримання цих даних дозволяє системі приймати рішення щодо поливу, освітлення та вентиляції, забезпечуючи оптимальні умови для росту та розвитку рослин. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес вирощування рослин у гідропонній системі та забезпечити їх здоровий розвиток.

Перевірка значень з датчиків та необхідних параметрів у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин є критичним

етапом, оскільки від цих перевірок залежить подальше управління системою. Під час цього етапу система аналізує отримані дані з датчиків і порівнює їх з попередньо встановленими параметрами. Наприклад, якщо вологість ґрунту виявляється нижче встановленого порогу, система приймає рішення про включення поливу. Також перевірка значень датчиків допомагає виявляти потенційні проблеми та несправності в системі, наприклад, відключення датчика або виникнення несправностей у роботі насосу чи вентиляції. Такий підхід дозволяє системі оперативно реагувати на зміни у середовищі вирощування рослин та забезпечувати оптимальні умови для їх здорового росту та розвитку.

Візуалізація даних на моніторі оператора у загальному алгоритмі роботи системи гідропонного вирощування рослин виконує важливу функцію забезпечення оператора системи актуальною та зрозумілою інформацією про стан рослин та параметри середовища. Це дозволяє оператору моніторити рівень освітленості, вологості ґрунту, температуру та інші параметри у реальному часі. Візуалізація даних може представлятися у вигляді графіків, діаграм, числових значень тощо, що допомагає оператору швидко сприймати та аналізувати інформацію. Такий підхід дозволяє оператору вчасно реагувати на зміни у середовищі та приймати необхідні рішення для забезпечення оптимальних умов для росту рослин. Крім того, візуалізація даних сприяє підвищенню ефективності управління системою та забезпечує зручність та зрозумілість інтерфейсу для оператора.

### 3.3 Розробка алгоритму керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин

Розробка алгоритму керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин має велике значення для автоматизації та оптимізації процесу вирощування. Перш за все, такий алгоритм дозволить

забезпечити постійний моніторинг та контроль за рівнем вологості, температурою, вологістю ґрунту та іншими важливими параметрами середовища, що впливають на зростання рослин. Це дозволить уникнути стресу для рослин та забезпечить їм оптимальні умови для розвитку. Крім того, алгоритм включає управління системою поливу та освітлення, що дозволить автоматично адаптувати ці параметри до потреб кожного конкретного типу рослин чи фази їх розвитку. Також, алгоритм включає в себе можливість віддаленого керування системою через мобільний пристрій, що дозволить користувачу моніторити та коригувати параметри віддалено, що особливо важливо для випадків, коли користувач не може фізично знаходитися поруч з системою. Крім того, такий алгоритм може включати в себе аналіз отриманих даних та навчання на їх основі для автоматичного покращення управління в майбутньому, що дозволить системі стати більш ефективною та оптимальною використовувати ресурси. Такий підхід до керування гідропонним вирощуванням може значно підвищити його продуктивність та ефективність, а також зменшити ризик помилок та втрат у вирощуванні рослин. Розроблений алгоритм керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин, представлено на рисунку 3.2.

Опишемо призначення кожного блоку розробленого алгоритму керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин:

– блок "Ініціалізація бібліотеки" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин служить для підготовки та налаштування необхідних бібліотек перед початком роботи основного алгоритму. Це може включати в себе ініціалізацію бібліотек для роботи з сенсорами, актуаторами, комунікаційними модулями тощо. Цей блок допомагає забезпечити правильну роботу всієї системи та гарантує, що всі компоненти готові до виконання своїх функцій;

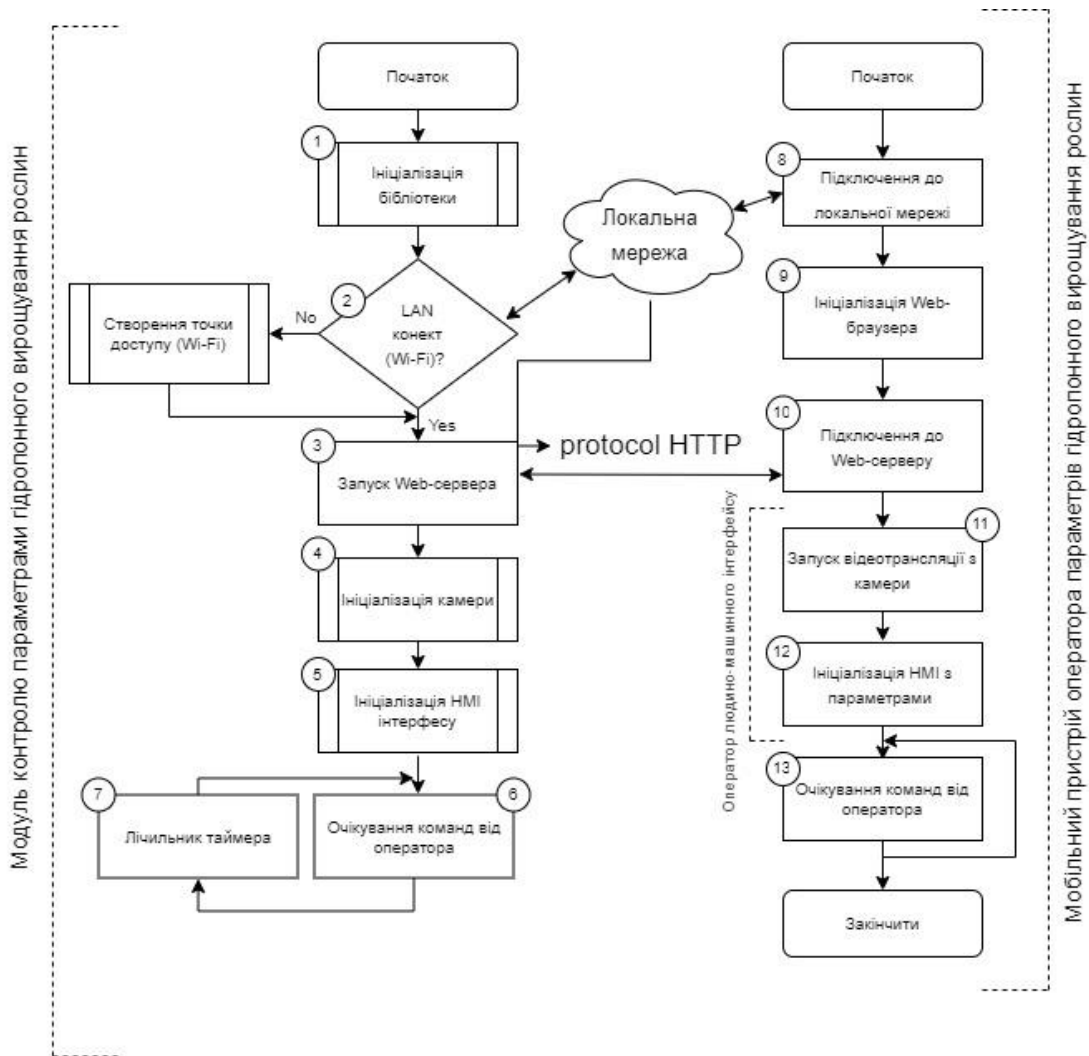


Рисунок 3.2 – Алгоритм керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин

– блок "Запуск Web-сервера" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин відповідає за створення та запуск веб-сервера, який дозволяє взаємодіяти з системою через веб-інтерфейс. Цей блок дозволяє користувачам зчитувати дані про стан гідропонної системи, встановлювати параметри вирощування, як-то температуру, вологість, рівень поживних розчинів тощо, а також керувати системою з використанням веб-інтерфейсу. Такий підхід робить систему більш зручною у використанні та дозволяє здійснювати керування та моніторинг системи з будь-якого пристрою з доступом до Інтернету;

– блок "Ініціалізація камери" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин служить для підготовки та налаштування камери перед початком її використання для моніторингу рослин або вирощувального середовища. Це може включати в себе встановлення необхідних параметрів (наприклад, роздільної здатності, частоти кадрів тощо), активацію камери та підготовку до зчитування або стрімінгу відео чи зображень. Ініціалізація камери дозволяє забезпечити її коректну роботу та готовність до подальших операцій з використанням зображень чи відео для контролю за гідропонним вирощуванням;

– блок "Ініціалізація НМІ інтерфейсу" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин відповідає за створення та запуск інтерфейсу користувача (НМІ – Human-Machine Interface), який дозволяє взаємодіяти з системою. Цей блок дозволяє відображати інформацію про стан гідропонної системи, параметри вирощування, а також дозволяє користувачам встановлювати параметри та керувати системою через графічний інтерфейс. НМІ інтерфейс робить взаємодію з системою більш зручною та інтуїтивно зрозумілою для користувачів, що полегшує процес керування та моніторингу гідропонної системи;

– блок "Очікування команд від оператора" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин відповідає за постійне перевірку наявності нових команд від оператора (користувача) і їх обробку. Цей блок дозволяє реалізувати можливість взаємодії з системою з боку користувача, наприклад, задавання нових параметрів вирощування, отримання інформації про стан системи або виконання інших дій. Очікування команд від оператора робить систему більш гнучкою та адаптивною до змін у вирощуванні рослин, що дозволяє оптимізувати процес керування гідропонною системою;

– блок "Лічильник таймера" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин використовується для відстеження часу або певних інтервалів часу. Цей блок може використовуватися для планування та керування різними процесами у гідропонній системі, наприклад, для зміни параметрів середовища вирощування (температура, освітленість, полив) залежно від часу доби або для виконання інших регулярних дій;

– блок "Підключення до локальної мережі" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин служить для забезпечення зв'язку та обміну даними між гідропонною системою та іншими пристроями чи сервісами у локальній мережі. Цей блок дозволяє системі отримувати доступ до зовнішніх даних, наприклад, погодних умов або інформації про рослини, а також надсилати дані про стан системи чи отримувати команди керування через мережу;

– блок "Ініціалізація Web-браузера" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин служить для підготовки та налаштування Web-браузера для відображення веб-інтерфейсу користувача. Цей блок дозволяє запустити браузер та налаштувати його для відображення веб-сторінки або веб-додатка, що надає доступ до функціоналу керування параметрами гідропонного вирощування рослин. Ініціалізація Web-браузера може включати в себе налаштування параметрів відображення (розмір вікна, масштабування сторінки тощо), підключення до веб-сервера, що надає доступ до інтерфейсу системи, та інші налаштування, необхідні для коректної роботи веб-інтерфейсу на пристрої користувача;

– блок "Підключення до Web-серверу" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин відповідає за встановлення зв'язку між системою керування гідропонною системою та веб-сервером, який надає доступ до веб-інтерфейсу для користувачів. Цей блок дозволяє системі надсилати та отримувати дані через веб-сервер, які

використовуються для моніторингу та керування параметрами гідропонного вирощування. Підключення до Web-серверу може бути використано для передачі даних про стан гідропонної системи (температура, вологість, рівень поживних розчинів тощо) на веб-інтерфейс для відображення користувачам, а також для отримання команд від користувачів через веб-інтерфейс для керування параметрами системи. Це дозволяє забезпечити зручний та ефективний спосіб керування гідропонною системою через Інтернет;

– блок "Запуск відеотрансляції з камери" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин служить для створення та запуску відеопотоку з камери, який може бути використаний для відображення зображення рослин або вирощувального середовища на веб-інтерфейсі користувача. Цей блок дозволяє операторам або користувачам системи відслідковувати стан гідропонної системи в реальному часі та забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування системою. Запуск відеотрансляції з камери може бути корисним для відслідковування росту рослин, виявлення проблем у вирощуванні (наприклад, хвороби або шкідники) або просто для спостереження за процесом вирощування. Такий функціонал дозволяє підвищити контроль та ефективність гідропонного вирощування рослин;

– блок "Ініціалізація НМІ з параметрами" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин використовується для створення та налаштування інтерфейсу користувача (НМІ – Human-Machine Interface) з певними параметрами. Цей блок дозволяє налаштувати вигляд та функціонал інтерфейсу для відображення та управління параметрами гідропонної системи. Ініціалізація НМІ з параметрами може включати в себе встановлення розмірів та розташування елементів інтерфейсу, встановлення значень за замовчуванням для певних параметрів, налаштування кольорів та стилів відображення, а також підготовку до отримання та відправлення даних через інтерфейс. Цей блок

дозволяє забезпечити користувачам зручний та ефективний інтерфейс для взаємодії з гідропонною системою;

– блок "Очікування команд від оператора" в алгоритмі керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин відповідає за постійне очікування введення команд від оператора (користувача) та їх обробку. Цей блок дозволяє операторам змінювати параметри вирощування, відслідковувати стан системи та керувати нею через інтерфейс користувача. Очікування команд від оператора може включати в себе зчитування введених даних з клавіатури або інших пристроїв введення, визначення команд та їхню обробку відповідно до вимог системи. Цей блок дозволяє операторам взаємодіяти з гідропонною системою та забезпечує зручний та ефективний спосіб керування параметрами вирощування рослин.

Розроблений алгоритм управління модулем контролю параметрів гідропонного вирощування рослин має кілька ключових переваг. По-перше, він надає зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів, що спрощує процес керування параметрами вирощування та дозволяє ефективно відстежувати стан системи. Друга важлива перевага полягає в можливості використання веб-інтерфейсу для моніторингу та керування, що дозволяє віддалено керувати системою через Інтернет. Третя перевага – підтримка відеотрансляції з камери, що дозволяє спостерігати за рослинами та середовищем вирощування у реальному часі. Крім того, алгоритм може очікувати команд від оператора, що робить взаємодію з системою більш гнучкою та адаптивною. Важливою особливістю є інтеграція з локальною мережею для обміну даними з іншими пристроями або сервісами. Також алгоритм забезпечує підключення до веб-сервера для обміну даними та керування параметрами через веб-інтерфейс. Інші переваги включають ініціалізацію камери та інтерфейсу користувача з параметрами за замовчуванням для забезпечення оптимального функціонування системи, запуск веб-сервера та ініціалізацію браузера для відображення веб-

інтерфейсу, використання лічильника таймера для планування регулярних операцій у системі, ініціалізацію НМІ інтерфейсу для зручного відображення та управління параметрами системи. Всі ці переваги роблять алгоритм ефективним та зручним для керування параметрами гідропонного вирощування рослин, сприяючи покращенню врожаю та оптимізації процесу вирощування.

### 3.4 Програмна реалізація обробки даних з датчиків в середовищі Arduino IDE та керування виконуючими пристроями

Для написання програми обробки даних з датчиків в середовище Arduino IDE на першому етапі не обхідно визначити піні підключення до системи керування:

```
#define RELAY_PIN 2
#define FAN_PIN 3
#define PUMP_PIN 4
#define LIGHT_SENSOR_PIN A0
#define SOIL_MOISTURE_SENSOR_PIN A1
```

Цей фрагмент коду використовується для визначення пінів, до яких підключені реле, вентилятор, насос, а також датчики освітленості та вологості ґрунту.

Після цього необхідно описати базову функцію `void setup()`, яка дає можливість налаштувати роботу пінів:

```
void setup() {
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(FAN_PIN, OUTPUT);
  pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
```

```

if (!htu.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find sensor!");
  while (1);
}
}

```

Представлений вище фрагмент програмного коду, вирішує наступні задачі. Ініціалізація пінів для виводу, функція `pinMode()` встановлює режим роботи пінів на вивід. У даному випадку це необхідно для підключення реле, яке керує вентилятором та насосом, до пінів мікроконтролера ESP32-Cam. В результаті ці піни можна буде використовувати для керування станом реле (увімкнено або вимкнено).

Ініціалізація зв'язку з датчиком, функція `Serial.begin(9600)`; встановлює зв'язок із монітором відладки для виведення повідомлень про стан системи та отримання даних з датчика. Умовний оператор `if (!htu.begin()) {...}` перевіряє, чи можна встановити зв'язок з датчиком вологості та температури HTU21DF. Якщо зв'язок не вдається встановити, на екран виводиться повідомлення про невдале підключення до датчика, та виконання програми зупиняється за допомогою безкінечного циклу `while(1)`;

Функція `void loop()` використовується для безперервного виконання коду після завершення функції `void setup()`. Основна задача цієї функції – забезпечити постійне виконання дій, необхідних для роботи пристрою або системи. У випадку системи гідропонного вирощування рослин, функція `void loop()` відповідає за постійне зчитування даних з датчиків, аналіз цих даних і прийняття рішень щодо управління поливом, освітленням та вентиляцією. Також, у функції `void loop()` можуть виконуватися інші дії, які потребують постійного контролю або виконання, наприклад, відправка даних на віддалений сервер або відображення інформації на дисплеї.

```

float temperature = htu.readTemperature();
float humidity = htu.readHumidity();

```

```
int lightValue = analogRead(LIGHT_SENSOR_PIN);
int soilMoisture = analogRead(SOIL_MOISTURE_SENSOR_PIN);
```

Даний фрагмент коду виконує зчитування даних з датчиків, які вимірюють температуру, вологість повітря, освітленість та вологість ґрунту.

Детальніше:

`float temperature = htu.readTemperature();` – зчитування температури з датчика температури та вологості HTU21DF.

`float humidity = htu.readHumidity();` – зчитування вологості повітря з того ж датчика.

`int lightValue = analogRead(LIGHT_SENSOR_PIN);` – зчитування значення освітленості з фоторезистора, підключеного до вказаного піна.

`int soilMoisture = analogRead(SOIL_MOISTURE_SENSOR_PIN);` – зчитування значення вологості ґрунту з ємнісного датчика вологості, підключеного до вказаного піна.

Ці дані можуть бути використані для аналізу умов вирощування рослин та прийняття рішень щодо поливу, освітлення та інших аспектів управління системою гідропонного вирощування.

```
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(humidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("Light sensor value: ");
Serial.println(lightValue);
Serial.print("Soil moisture: ");
Serial.println(soilMoisture)
```

Цей фрагмент коду відповідає за виведення даних з датчиків на монітор послідовного порту (через USB, наприклад) за допомогою функцій

`Serial.print()` та `Serial.println()`. Виведення даних на монітор може бути корисним для відлагодження програми та моніторингу показників у реальному часі. Конкретно, цей фрагмент виводить такі дані:

- температуру (`temperature`) у градусах Цельсія;
- вологість повітря (`humidity`) у відсотках;
- значення освітленості (`lightValue`) з фоторезистора;
- вологість ґрунту (`soilMoisture`) з ємнісного датчика вологості.

Ці дані можуть допомогти оператору або розробнику відслідковувати та аналізувати параметри середовища для рослин та вчасно реагувати на зміни, оптимізуючи умови для їхнього росту та розвитку.

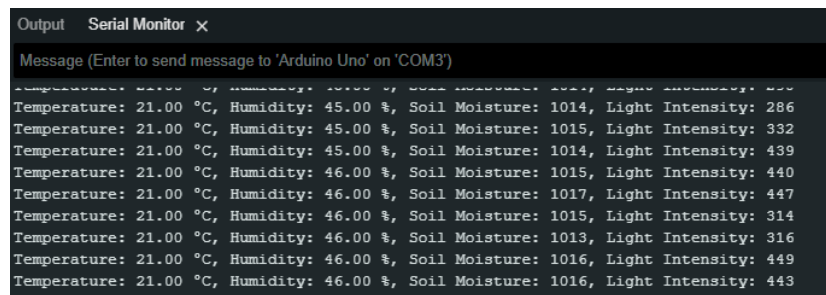
```
if (soilMoisture < 500) {
    digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);
}
if (lightValue < 500) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
}
```

Даний фрагмент коду відповідає за керування роботою насоса та реле в залежності від значень, зчитаних з датчиків вологості ґрунту та освітленості відповідно. Конкретно, цей фрагмент робить наступне:

- якщо значення вологості ґрунту (`soilMoisture`) менше 500 (можливо, це вказує на те, що ґрунт пересихає), то насос (`PUMP_PIN`) увімкнеться (встановлюється `HIGH`), щоб полити рослини. В іншому випадку, насос вимкнеться (встановиться `LOW`);
- якщо значення освітленості (`lightValue`) менше 500 (можливо, це вказує на недостатнє освітлення), то реле (`RELAY_PIN`), яке, наприклад,

керує лампами для освітлення рослин, увімкнеться. В іншому випадку, реле вимкнеться.

Цей фрагмент коду допомагає автоматизувати процес управління поливом та освітленням у системі гідропонного вирощування рослин, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для їхнього зростання та розвитку. Отриманий результат обробки інформації з датчиків, який відводиться в монітор порта, представлено на рисунку 3.3.



```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM3')
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 45.00 %, Soil Moisture: 1014, Light Intensity: 286
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 45.00 %, Soil Moisture: 1015, Light Intensity: 332
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 45.00 %, Soil Moisture: 1014, Light Intensity: 439
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1015, Light Intensity: 440
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1017, Light Intensity: 447
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1015, Light Intensity: 314
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1013, Light Intensity: 316
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1016, Light Intensity: 449
Temperature: 21.00 °C, Humidity: 46.00 %, Soil Moisture: 1016, Light Intensity: 443
  
```

Рисунок 3.3 – Отримані дані з датчиків розробленого макету системи гідропонного вирощування рослин

### 3.5 Реалізація НМІ системою керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин

Отримання відеопотоку з камери ESP32-Cam для системи керування гідропонічним вирощуванням рослин (рис. 2.1), полягає в використанні бібліотеки ESP32 Camera Web Server. Підключення камери здійснюється через інтерфейс ESP32-Cam, після чого запускається веб-сервер, що надає доступ до відеопотоку через веб-інтерфейс. Клієнтські пристрої можуть отримувати відеопотік, відправляючи відповідні запити через браузер або інші програми. ESP32-Cam обробляє відеопотік з камери та передає його клієнтським пристроям. Крім отримання відеопотоку, ESP32-Cam може взаємодіяти з датчиками та керувати параметрами гідропонічної системи вирощування рослин на основі отриманих даних. Цей пристрій може підтримувати різні формати відео, що робить його використання у різних

застосунках більш гнучким. Однак, швидкість передачі даних може бути обмеженою через Wi-Fi, а обмежені можливості обробки відео можуть виникнути при роботі з великим обсягом даних або складними операціями. Для реалізацій НМІ для керування пропонується розробити програму ESP32-Cam для транслявання потокового відео через бездротову мережу. Внаслідок цього, в середовищі Arduino IDE розробимо наступну програму, фрагменти базових функцій представлено нижче.

```
#include "esp_camera.h"  
#include "WiFi.h"  
#include "esp_timer.h"  
#include "img_converters.h"  
#include "Arduino.h"  
#include "fb_gfx.h"  
#include "soc/soc.h" //disable brownout problems  
#include "soc/rtc_cntl_reg.h" //disable brownout problems  
#include "dl_lib.h"  
#include "esp_http_server.h"  
#include <WebServer.h>
```

Ці бібліотеки використовуються для роботи з камерою ESP32-Cam та забезпечення функціональності зображення та веб-сервера на мікроконтролері ESP32. Розглянемо кожну з них:

- esp\_camera.h: містить функції та константи для роботи з камерою ESP32-Cam, включаючи ініціалізацію та отримання зображення;
- WiFi.h: відповідає за підключення до Wi-Fi мережі та обмін даними через неї. Використовується для встановлення зв'язку з мережею для передачі даних;
- esp\_timer.h: надає функції для роботи з таймерами та затримками в програмі;

- `img_converters.h`: містить функції для конвертації форматів зображень, наприклад, з JPEG в BMP або інші формати;
- `Arduino.h`: забезпечує базові функції Arduino для роботи з мікроконтролером ESP32, такі як `digitalWrite`, `analogRead`, тощо;
- `fb_gfx.h`: надає функції для роботи з графікою на мікроконтролері, такі як малювання примітивів або тексту;
- `soc/soc.h` та `soc/rtc_cntl_reg.h`: використовуються для управління параметрами живлення мікроконтролера та уникнення проблем зі збоєм живлення (`brownout`);
- `dl_lib.h`: використовується для роботи з бібліотекою Deep Learning на мікроконтролері ESP32 (якщо вона потрібна в проекті);
- `esp_http_server.h`: надає функції для роботи з HTTP сервером на ESP32, що може використовуватися для створення веб-сервера;
- `<WebServer.h>`: це може бути бібліотека `WebServer` для ESP8266 або іншої платформи, яку використовують на ESP32. Вона дозволяє створювати веб-сервери та обробляти HTTP запити.

Ці бібліотеки необхідні для взаємодії з камерою, роботи з Wi-Fi та HTTP протоколами, а також для обробки зображень та взаємодії з іншими пристроями через мережу.

```
//Replace with your network credentials
const char* ssid = "System_1"; //Web_Server (IP:192.168.4.1 )
const char* password = "12345678";
```

Даний фрагмент коду призначений для налаштування параметрів підключення до мережі Wi-Fi. Конкретно, ви вказуєте ім'я мережі (SSID) та пароль для підключення до неї. У цьому випадку вказані значення "System\_1P" та "12345678" відповідають відповідно ім'я мережі та пароль. Коли ESP32-Cam запускається, він буде намагатися підключитися до цієї мережі за допомогою вказаних параметрів.

```
#elif defined(CAMERA_MODEL_AI_THINKER)
```

```

#define PWDN_GPIO_NUM  32
#define RESET_GPIO_NUM -1
#define XCLK_GPIO_NUM  0
#define SIOD_GPIO_NUM  26
#define SIOC_GPIO_NUM  27
#define Y9_GPIO_NUM    35
#define Y8_GPIO_NUM    34
#define Y7_GPIO_NUM    39
#define Y6_GPIO_NUM    36
#define Y5_GPIO_NUM    21
#define Y4_GPIO_NUM    19
#define Y3_GPIO_NUM    18
#define Y2_GPIO_NUM     5
#define VSYNC_GPIO_NUM 25
#define HREF_GPIO_NUM  23
#define PCLK_GPIO_NUM  22
#else
    #error "Camera model not selected"
#endif

```

Цей фрагмент коду визначає конфігурацію пінів для камери ESP32-Cam в залежності від вибраної моделі камери. Якщо обрана модель AI Thinker, то для кожного сигнального виводу камери визначається номер GPIO (General Purpose Input/Output) на ESP32. Наприклад, PWDN\_GPIO\_NUM визначає GPIO, який відповідає за вимкнення камери, а Y9\_GPIO\_NUM визначає GPIO для виводу Y9 (яскравість пікселя).

Цей фрагмент коду важливий для правильної роботи камери ESP32-Cam, оскільки він визначає, які піни ESP32 будуть використовуватися для зчитування даних з камери та управління нею.

```
void startCameraServer(){
```

```
httpd_config_t config = HTTPD_DEFAULT_CONFIG();
config.server_port = 80;

httpd_uri_t index_uri = {
    .uri      = "/",
    .method   = HTTP_GET,
    .handler  = stream_handler,
    .user_ctx = NULL
};
```

Цей фрагмент коду служить для налаштування та запуску веб-сервера на ESP32-Cam. Він використовується для налаштування параметрів веб-сервера, таких як порт, за яким він буде доступний (у цьому випадку – порт 80), та обробника (handler) для обробки HTTP запитів. Конкретно, код використовує структуру `httpd_config_t` для конфігурування сервера зі значеннями за замовчуванням, а потім перевизначає порт сервера на 80 (стандартний порт HTTP). Також, визначається обробник для URI `/`. Це означає, що коли клієнтський пристрій відправляє HTTP GET запит на кореневий URL сервера, викликається функція `stream_handler` для обробки цього запиту.

Цей фрагмент коду є частиною конфігурації веб-сервера ESP32-Cam і дозволяє йому відтворювати відеопотік за запитом клієнта. Результат виконання розробленого коду приведено на рисунку 3.4.

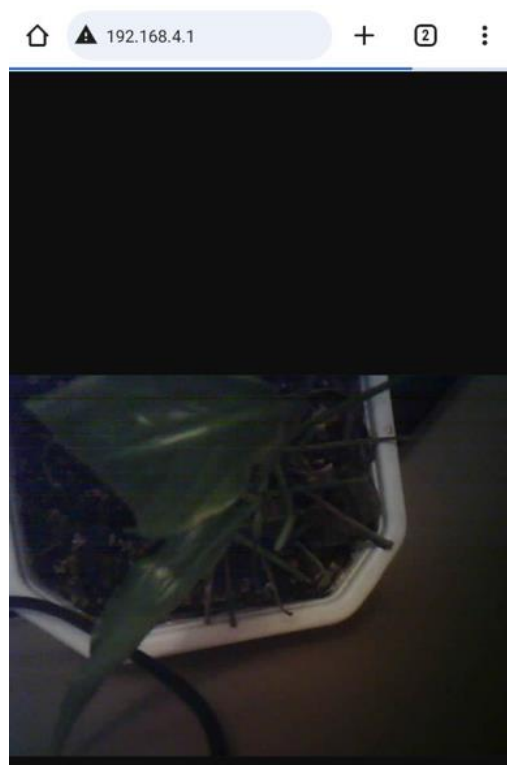


Рисунок 3.4 – Реалізація відео нагляду за рослинами

### 3.6 Проведення експерименту

Метою експерименту над розробленим макетом системи керування гідропонного вирощування рослин, є дослідження стабільності роботи розробленого макета та програми керування протягом 10 годин, при умовах що полив рослини буде відбуватися в залежності від температури, вологості ґрунту та освітленості. Полів буде проводитися коли вологість ґрунту буде нижче 500 та температура буде 21-22 °С, а також якщо датчик освітленості буде показувати параметри, які відповідають рівню ранку. Отримані результати представлені у вигляді графіка залежності на рисунку 3.5.

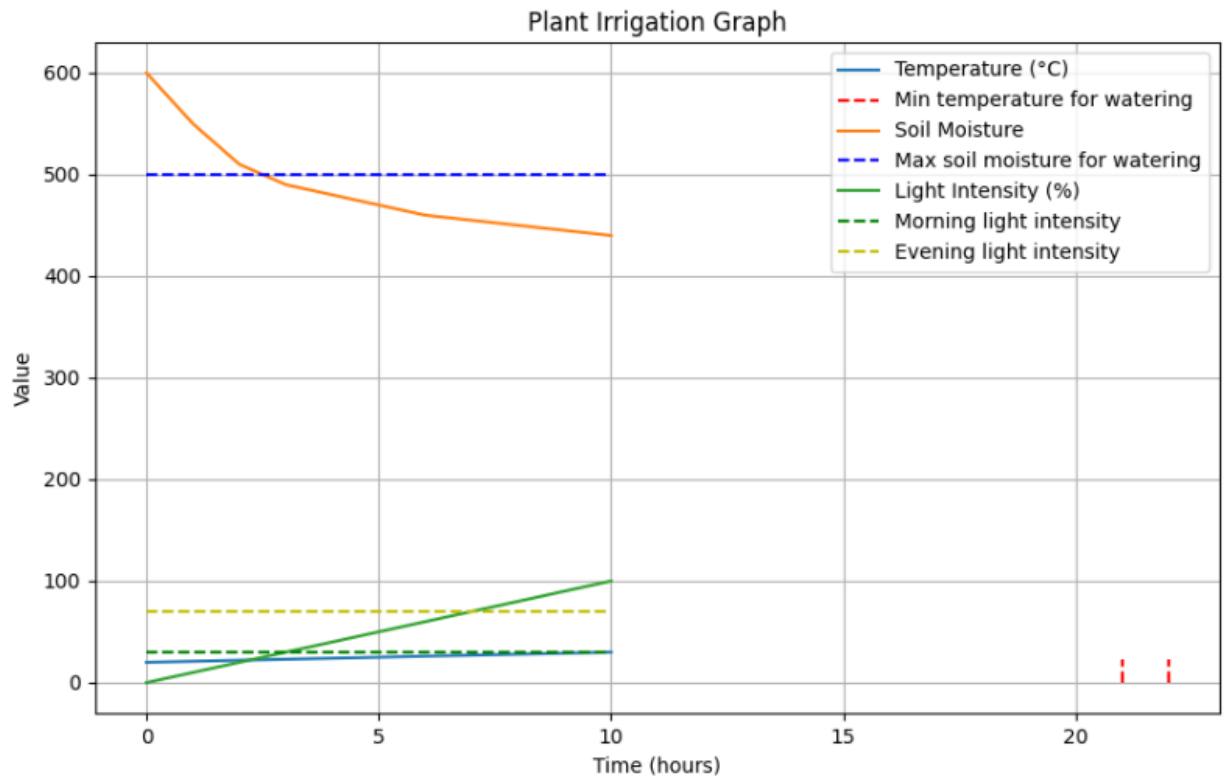


Рисунок 3.5 – Графік поливу рослин

Графік залежності (рис. 3.5), де ось X відображає час (години), а ось Y (Value) відображає значення температури, вологості ґрунту та освітленості. Червоні пунктирні лінії показують межі для температури, яка вимагає поливу рослини (21-23 °C), сині пунктирні лінії – межу для вологості ґрунту (500), зелені та жовті – межі для освітленості в ранок (30 %) та вечір (70 %) відповідно.

### 3.7 Охорона праці

Автоматизація процесів гідропонного вирощування рослин вимагає дотримання стандартів охорони праці та техніки безпеки для забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу. Проведемо розрахунки, необхідні для оцінки умов праці.

Припустимо, що ми маємо установку потужністю 10 кВт, яка працює від мережі з напругою 220 В. Необхідно обрати пристрій захисного відключення (ПЗВ) за наступними параметрами:

- потужність обладнання ( $P$ ): 10 кВт;
- напруга мережі ( $U$ ): 220 В;
- коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ): 0,95.

Обчислимо струм, що споживається установкою:

$$I = P / (U \cdot \cos\varphi), \quad (3.1)$$

$$I = 10000 / (220 \cdot 0,95) \approx 47,62 \text{ А.}$$

З урахуванням цього струму, обираємо ПЗВ на струм витоку не більше 30 мА для забезпечення достатнього рівня захисту від ураження електричним струмом [20].

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено автоматизацію процесів гідропонного вирощування рослин, шляхом розробки комп'ютеризованої системи поливу та обробки, яка дозволяє забезпечувати оптимальні умови вирощування, що дає підвищення врожайності, зменшення ресурсо- та енерговитрат.

Для досягнення основної мети було проаналізовано системи управління гідропонними системами та проведено аналіз існуючих аналогів. Розроблено структурну схему, проведено вибір датчиків, виконавчих пристроїв та вибір модуля мікроконтролера для реалізації системи керування.

Розроблено схему підключення, проведено розрахунки часу та споживання води для системи. Зібрано макет системи та проведено розрахунок передаточних функцій.

Проведено обґрунтування та вибір середовища розробки. Розроблено загальний алгоритм роботи системи та алгоритм керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин.

Програмно реалізовано обробку даних з датчиків в середовищі Arduino IDE та керування виконуючими пристроями.

Реалізовано НМІ систему керування модулем контролю параметрами гідропонного вирощування рослин та проведено експеримент.

Тема кваліфікаційної роботи сформульована у рамках тематики Міжнародного договору ХНУРЕ та Кельнського університету (Німеччина), що поєднує біологію та технології для вивчення змін, шляхом автоматизації процесів вирощування рослин.

Питання, що розглядаються в кваліфікаційній роботі, відповідають «Цілям сталого розвитку» (ЦСР, відомі також як Глобальні цілі) – ключові

напрямки розвитку країн, що були ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку.

Тематика роботи частково вирішує питання, що вміщені в ціль «Ціль 1. Подолання бідності», «Ціль 2. Подолання голоду, розвиток сільського господарства» та «Ціль 9. Промисловість, інновації та інфраструктура».

Отримані результати кваліфікаційної роботи апробовано на міжнародній конференції та опубліковано в наукових статтях.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипченко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.

4. Цілі сталого розвитку // Міністерство освіти і науки України, 2024.  
URL: <https://mon.gov.ua/nauka/innovatsiyna-diyalnist-ta-transfertekhnologiy/analitichni-materiali-2/tsili-stalogo-rozvitku> (дата звернення: 26.04.2024).

5. Натарова В.С. Інтеграція датчиків та контрольних систем для оптимізації параметрів вирощування рослин на основі технологій гідропонних // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2024: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; Харків: ХНУРЕ, 2024. – Вип. 1. С.: 41 - 46.

6. Натарова В. С. Автоматизація гідропонного вирощування / В. С. Натарова, О. О. Чала // матеріали І-ої Всеукраїнської конференції

Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки. – Харків, 2024. – С. 32-37.

7. Indoor Hydroponic Gardening Systems // AeroGarden, 2024. URL: <https://aerogarden.com/gardens/all-gardens> (дата звернення: 25.04.2024).

8. Click & Grow набір початківця: білий // OktoTayer, 2024. URL: <https://grow-some.com/products/click-grow-nabir-pochatktivtsia> (дата звернення: 25.04.2024).

9. Hydroponic fodder farm // FarmBoxFood, 2024. URL: <https://farmboxfoods.com/fodder-farm/> (дата звернення: 26.04.2024).

10. HS Hydropot Systems // Hydroponic Systems, 2024. URL: [https://hydroponicsystems.eu/ru/case\\_study/hs-hydropot-system/](https://hydroponicsystems.eu/ru/case_study/hs-hydropot-system/) (дата звернення: 26.04.2024).

11. What is the Hydroponic Nutrient-Film-Technique (NFT) // Hydroplanner, 2024. URL: <https://hydroplanner.com/blog/hydroponic-nutrient-film-technique-nft> (дата звернення: 27.04.2024).

12. Модуль светорезистор фоторезистор Arduino // Rozetka, 2024. URL: [https://rozetka.com.ua/346514148/p346514148/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxth4mjmp1p5c1m3W6DxUxPReA0Ta4ayIGTsRjO3tGcFfWGsHNnLYBoCjBwQAvD\\_BwE](https://rozetka.com.ua/346514148/p346514148/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxth4mjmp1p5c1m3W6DxUxPReA0Ta4ayIGTsRjO3tGcFfWGsHNnLYBoCjBwQAvD_BwE) (дата звернення: 10.05.2024).

13. Ємнісний датчик вологості ґрунту для Arduino // Електроніка, 2024. URL: [https://electronica.in.ua/ua/p1530388141-emkostnoj-datchik-vlazhnosti.html?source=merchant\\_center&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=20496384634&utm\\_term=&utm\\_content=&utm\\_position=&utm\\_matchtype=&utm\\_placement=&utm\\_network=x&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtmnqA4erFITWmvisDr344yOC7qn9hzMD2\\_JRwGYqIBI05rP-jzZsWhoCiEoQAvD\\_BwE](https://electronica.in.ua/ua/p1530388141-emkostnoj-datchik-vlazhnosti.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtmnqA4erFITWmvisDr344yOC7qn9hzMD2_JRwGYqIBI05rP-jzZsWhoCiEoQAvD_BwE) (дата звернення: 12.05.2024).

14. Модуль температури та вологості GY-213V-HTU21D SHT21 SHT20 HTU21D (17929) // BeeGreen, 2024. URL: <https://beegreen.com.ua/ru-ru/modul->

temperaturi-i-vologosti-gy-213v-htu21d-sht21-sht20-htu21d-17929 (дата звернення: 14.05.2024).

15. Насос водяний погрузний міні помпа 2.5-6В, до 1.5Вт, 2л/хв // Rozetka, 2024. URL: [https://rozetka.com.ua/260189356/p260189356/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtlIEtIXiBq49CхTNJYdUqNLpWPnwLTPj\\_xR2aXfHxx1hXGQw1NwjBoC6moQAvD\\_BwE](https://rozetka.com.ua/260189356/p260189356/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtlIEtIXiBq49CхTNJYdUqNLpWPnwLTPj_xR2aXfHxx1hXGQw1NwjBoC6moQAvD_BwE) (дата звернення: 14.05.2024).

16. Вентилятор 50мм 5В 2пін кулер для відеокарти, 3D-принтера // Evse.com.ua, 2024. URL: [https://evse.com.ua/ventilyator-50mm-5v-2pin-kuler-dlyavideokarty3dprinteragclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtpXaRG7Uc8kbsJJEfPJlWXsn7Aqloq6TJclU552-3\\_Bun0pigkSD\\_BoCXE8QAvD\\_BwE](https://evse.com.ua/ventilyator-50mm-5v-2pin-kuler-dlyavideokarty3dprinteragclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtpXaRG7Uc8kbsJJEfPJlWXsn7Aqloq6TJclU552-3_Bun0pigkSD_BoCXE8QAvD_BwE) (дата звернення: 15.05.2024).

17. ESP32 CAM з камерою OV2640 Wi-Fi та Bluetooth // Мій проект, 2024. URL: [https://myproject.com.ua/esp32-cam-z-kameroju-ov2640-wifi-ta-bluetoothua.html?gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtnZ\\_RYWbbDGAISsFSOorE8YhbgWVBQtCR5TvjA4xYwjwdGHqdyBXvBoCTUQAvD\\_BwE&utm\\_source=google&utm\\_medium=src&utm\\_campaign=New\\_Company](https://myproject.com.ua/esp32-cam-z-kameroju-ov2640-wifi-ta-bluetoothua.html?gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtnZ_RYWbbDGAISsFSOorE8YhbgWVBQtCR5TvjA4xYwjwdGHqdyBXvBoCTUQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=src&utm_campaign=New_Company) (дата звернення: 15.05.2024).

18. Модуль ADS1115 - 4-канальний 16-бітний АЦП // Мій проект, 2024. URL: [https://myproject.com.ua/modul-ads1115-4-kanalnij-16-bitnij-acp-ua.html?gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxthgCHtnMBgzTYyBXMUNgc84QJtn3oD5l8IIC2EPwGGpMVw7oMutfxoCjh0QAvD\\_BwE&utm\\_source=google&utm\\_medium=src&utm\\_campaign=New\\_Company](https://myproject.com.ua/modul-ads1115-4-kanalnij-16-bitnij-acp-ua.html?gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxthgCHtnMBgzTYyBXMUNgc84QJtn3oD5l8IIC2EPwGGpMVw7oMutfxoCjh0QAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=src&utm_campaign=New_Company) (дата звернення: 18.05.2024).

19. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навч. посіб. Для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

20. Охорона праці. Вимоги до робочого місця працівника // Сайт ГСС.  
URL: <https://gs.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/> (дата звернення: 01.06.2024).