

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 – Інформаційні технології \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 –Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_

на тему «Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу»

КвРКІП. 180240.22.01.19 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-22-1

Керівник доктор техн. наук, професор  
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.  
Т.О. Говорущенко

20 05 2024 р.

  
Підпис  
Побережна А.Ю.  
Ініціали, прізвище

  
Підпис  
Яцків В.В.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2024

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Побережній Анні Юріївні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Керівник проекту (роботи) Яцків В.В., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Дослідження завдання моніторингу стану рослин в режимі реального часу


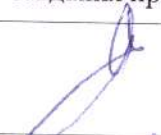


Моделювання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Проектування кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Апаратно-програмна реалізація кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	04.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	02.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	17.11.2023	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	04.04.2024	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	25.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 23.05.2024	

Студент

  
Підпис

Побережна А.Ю.

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Яцків В.В.

Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Автор роботи: Побережна Анна Юріївна

Керівник роботи: Яцків Василь Васильович д.т.н., професор

Пояснювальна записка: 88 с., 33 рис., 5 табл., 3 дод., 81 джерело.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ, АНАЛІЗ, РОСЛИНИ, ПРИНЦИПОВА СХЕМА, ПРОЄКТУВАННЯ.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розгляд прикладних аспектів розробки кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг стану рослин в режимі реального часу.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи виміру основних характеристик життєдіяльності рослини. Проведено огляд на відомі рішення поставленого завдання, а також їх аналіз. Як результат було виявлено, що проблема правильного спостереження за рослиною не вирішена і є актуальною. Було здійснено дослідження на тему вологості ґрунту, вологості та температури повітря. Також вибір апаратних складових кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу і програмної реалізації. Результати були проаналізовані та на основі них виявлено фактори правильного догляду за рослинами.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) набув подальшого розвитку метод моніторингу стану рослин, що забезпечує видання результатів без затримок, а також надає можливість удосконалити навколишнє середовище. Був проведений аналіз помилок у даній темі та на основі них покращилась система контролю за рослинами;

2) набула подальшого розвитку апаратно-програмна реалізація систем моніторингу за рослинами. Надано можливість постачання води у ґрунт завдяки розумному горщику. Проведено дослідження характеристик субстрату і на основі цього враховано особливості його структури. Давачі працюють за алгоритмом, який враховує особливості повітря. Проведено роботу з усунення проблем затримки результатів роботи давачів, модулів та сенсорів.

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів полягає у наданні користувачам кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу можливості отримувати результат без затримок та впевненість у їх точності, надійному інтерфейсі керування та незалежність від характеристик навколишнього середовища.

У першому розділі було встановлено цілі дослідження, проведено огляд на характеристики навколишнього середовища рослини та їх значущість, визначено проблеми відомих рішень поставленого завдання.

У другому розділі проаналізовано особливості кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, визначено методи розрахунку вологості ґрунту та вологості та температури повітря, розроблена архітектура системи, подано варіанти використання, виявлено чинники, що впливають на характеристики навколишнього середовища рослини.

У третьому розділі вибрано апаратні складові, встановлено принципову схему.

У четвертому розділі реалізовано встановлення пристроїв керування, реалізовано апаратну частину виміру вологості ґрунту та рівня води у горщику, реалізовано апаратну частину виміру вологості та температури повітря, реалізовано апаратну частину надання води у ґрунт, налаштовано програмну частину роботи, проведено огляд на результати дослідження.

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВДАННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ</b> .....	10
1.1 Цілі моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	10
1.2 Характеристики моніторингу стану рослин .....	12
1.3 Технологія Інтернету речей та її платформа Blynk.....	14
1.4 Аналогові пристрої моніторингу стану рослин в режимі реального часу ..	18
1.5 Висновки. Постановка задачі .....	21
<b>2 МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ</b> .....	24
2.1 Особливості кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.....	24
2.2 Архітектура кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.....	35
2.3 Використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.....	42
2.4 Модель розрахунку вологості повітря у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	48
2.5 Модель розрахунку вологості ґрунту у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	51
2.6 Модель розрахунку температури повітря у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	54
2.7 Розгляд характеристик життєдіяльності рослин для правильного моніторингу .....	56

2.8	Висновки .....	59
<b>3 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ</b>		
<b>СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ .....</b>		
3.1	Обґрунтування вибору апаратних складових та програмного забезпечення 61	
3.1.1	Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266 .....	62
3.1.2	Ємнісний давач вологості ґрунту.....	63
3.1.3	Сенсорний модуль DHT11 .....	65
3.1.4	Драйвер двигунів L293D .....	67
3.1.5	Водяний насос 5В .....	68
3.1.6	Батареї на 9В .....	70
3.1.7	Контактні піни .....	72
3.1.8	Діоди 1N4007 .....	74
3.2	Проектування друкованої плати .....	75
3.3	Принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.....	77
3.4	Висновки .....	78
<b>4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ</b>		
<b>МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ .....</b>		
4.1	Встановлення пристроїв керування .....	79
4.2	Реалізація апаратної частини виміру вологості ґрунту та рівня води у горщику .....	81
4.3	Реалізація апаратної частини виміру вологості та температури повітря....	84
4.4	Реалізація апаратної частини надання води у ґрунт .....	85
4.5	Налаштування програмної частини роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	87

4.6	Результати роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	88
4.7	Висновки .....	91
<b>ВИСНОВКИ</b>	.....	<b>93</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b>	.....	<b>95</b>
<b>ДОДАТОК А</b>	Лістинг програмного забезпечення кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу .....	<b>102</b>
<b>ДОДАТОК Б</b>	Тези .....	<b>104</b>
<b>ДОДАТОК В</b>	Презентація до захисту кваліфікаційної роботи магістра .....	<b>110</b>

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КФС – кіберфізична система

ВООЗ - Всесвітня організація охорони здоров'я

ОС - операційна система

ІоТ - Internet of Things (Інтернет речей)

.NET - програмна система

ПЗ - програмне забезпечення

ПК - персональний комп'ютер

## ВСТУП

Рослини мають велике значення для життя кожної людини. Дослідження показали вплив на людську психіку, включаючи зниження стресу, поліпшення настрою, підвищення продуктивності та покращення концентрації уваги [1]. Крім того, артеріальний тиск знижується, головна біль зменшується та загальне здоров'я покращується. Особа, яка взаємодіє з рослинністю, має всі ці позитивні наслідки на самопочуття. Але коли потреби рослини ігноруються, ситуація кардинально змінюється. Це призводить до погіршення здоров'я як рослини. А відповідно і людини, що знаходиться поруч з нею. Після аерозольної інфекції хвора рослинність може бути джерелом патогенних мікроорганізмів і грибків, які негативно впливають на здоров'я та самопочуття людини. Існує велика кількість домашніх квітів, що виділяють небезпечні токсичні речовини. Необхідно постійно спостерігати за потребами рослини і на основі цього робити висновки по її догляду.

Актуальність роботи полягає в наданні точних даних про стан рослини для покращення умов її утримання. Це дозволить заощадити у витраті ресурсів та підвищенні врожайності. Також рослини матимуть гарний вигляд і підвищиться їх якість.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розгляд прикладних аспектів розробки кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг стану рослин в режимі реального часу.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- визначення цілей моніторингу стану рослин;
- проведення огляду на відомі рішення поставленого завдання;
- встановлення характеристик навколишнього середовища перебування рослини;
- визначення особливостей кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- надання методів для розрахунку вологості ґрунту, вологості та температури повітря;

- визначення варіантів використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- розроблення архітектури системи;
- виявлення чинників, що впливають на характеристики навколишнього середовища рослини;
- обрання апаратних складових;
- встановлення принципової схеми;
- реалізація встановлення пристроїв керування;
- реалізація апаратної частини виміру вологості ґрунту, рівня води у горщику, виміру вологості та температури повітря, надання води у ґрунт;
- налаштування програмної частини роботи;
- проведення огляду на результати дослідження.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) набув подальшого розвитку метод моніторингу стану рослин, що забезпечує видання результатів без затримок, а також надає можливість удосконалити навколишнє середовище. Був проведений аналіз помилок у даній темі та на основі них покращилась система контролю за рослинами;

2) набула подальшого розвитку апаратно-програмна реалізація систем моніторингу за рослинами. Надано можливість постачання води у ґрунт завдяки розумному горщику. Проведено дослідження характеристик субстрату і на основі цього враховано особливості його структури. Давачі працюють за алгоритмом, який враховує особливості повітря. Проведено роботу з усунення проблем затримки результатів роботи давачів, модулів та сенсорів.

Практична значимість отриманих результатів полягає у наданні користувачам кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального

часу можливості отримувати результат без затримок та впевненість у їх точності, надійного інтерфейсу керування та незалежність від характеристик навколишнього середовища. В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

У даній роботі викладено вимоги до методології виміру характеристик навколишнього середовища, що впливають на стан рослини, апаратних складових систем, що надають дані про описані характеристики, програмної реалізації систем керування.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення методів виміру характеристик навколишнього середовища в, яких перебуває рослина.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези:

1. Побережна А.Ю. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. *Тези у матеріалах конференції XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»* 17-18 листопада 2023 р. Хмельницький., Україна.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВДАННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

## 1.1 Цілі моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Машина, що заощаджувала працю, були першими прототипами домашньої автоматизації. Домашня автоматизація є основним чинником, що дозволяє на сьогоднішній день мати бездоганний контроль над усіма пристроями будинку та об'єднати пристрої в мережу. У нашому повсякденному житті все більше людей потребують автоматизації завдань. Оскільки мати прості та зручні способи контролю та управління приладами стає неминучим, люди шукають способи покращити своє життя за допомогою новітніх технологій. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу являється ефективним рішенням автоматизації. Рослини мають приємні естетичні властивості та привносять у наше життя багато позитивного. У неправильній кількості вода може завдати шкоди життю рослини, тому важливо спостерігати за її кількістю у субстраті в, якому знаходиться рослинами. Наприклад, коли власник горщика з рослиною або власник саду живе за містом або ж далеко від свого саду, він не може доглядати за рослинами. Запропонована кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу має на меті забезпечити регулярне постачання води, а користувачі можуть отримати доступ до статусу та сповіщень з будь-якого віддаленого місця.

Велика кількість людей щодня вирощують рослини. Незважаючи на те, що більшість населення вважає цей процес простим, насправді він має багато труднощів і вимагає великої кількості зусиль. Місцевість вирощування може бути різною як в будинках, так і у віддалених місцях. Фермери та сільськогосподарські підприємства отримують прибуток від своєї діяльності. Врожай може принести прибуток, забезпечити сім'ю або навіть сприяти економічному зростанню регіонів. Харчування людства здебільшого полягає в вирощуванні рослин. Найбільш популярними є злаки, фрукти, овочі та зелень. Вони забезпечують організм людини енергією, поживними речовинами та вітаміни. Ще однією ціллю

вирощування рослини, це надання оселі краси та привабливості. Дерева, кущі та квіти можуть прикрасити сад, подвір'я та внутрішні приміщення. Озеленення та збереження природних ресурсів досягається завдяки вирощуванню рослин [1]. Деякі види рослин мають функцію захисту ґрунту від ерозії, покращення повітря та залишають міста зеленими. Найголовнішою перевагою утримання рослини є покращення психічного здоров'я людини позитивно впливає садівництво. Воно допомагає зняти стрес, отримати відчуття спокою та задоволення. Рослинництво стає все більш важливим у наш час, оскільки воно має багато переваг для життя людства. Але всі ці позитивні аспекти можуть бути нездійсненими, якщо рослина знаходиться в неприйнятних умовах. Рослинництво завдасть шкоди людям, навколишньому середовищу та самому собі. Отже висновком, є те, що важливо стежити за тим, в яких умовах знаходиться рослина, і надавати їй все, що вона потребує.

Автоматичний полив працює при низькій вологості ґрунту завдяки кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Завдяки цьому можна оптимізувати використання ресурсів, таких як вода та добрива, що зменшує витрати на вирощування рослин. Крім того, ця кіберфізична система моніторингу стану рослин у режимі реального часу може допомогти виявити проблеми, такі як хвороби чи шкідники, на ранніх стадіях розвитку рослин, що дозволяє оперативно приймати рішення для контролю та запобігання втратам урожаю. У наукових дослідженнях моніторинг допомагає збирати дані про те, як рослини реагують на різні навколишні фактори. Це сприяє розробці нових технологій і систем вирощування рослин, що покращує сільське господарство та рослинництво.

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу дозволяє отримувати детальну інформацію про середовище, в якому ростуть рослини, відстежувати їх стан і реакцію на різні фактори. Основна ціль моніторингу полягає в тому, щоб допомогти створити ідеальні умови для росту та розвитку рослин, підвищуючи їх продуктивність, здоров'я та стійкість до стресу. Це можна досягти, надаючи оперативні дані про температуру, вологість повітря та рівень

вологості ґрунту. Засихання кімнатних рослин виникає через недостатню кількість вологи в повітрі, що зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Кімнатна рослина при недостатній вологості повітря [2]

Таким чином, розробка кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, має велике значення як у практичних, так і в наукових цілях, що сприяє підвищенню продуктивності та стійкості сільськогосподарського виробництва та вирощуванню рослин вдома.

## 1.2 Характеристики моніторингу стану рослин

Характеристиками, що вимірюватиме кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу є рівень вологості ґрунту, температура та вологість повітря, тож потрібно розглянути їх детально.

Вологість ґрунту є життєво важливою для росту та розвитку рослин. Це складова частина, яка впливає на адаптацію, врожайність і фізіологічні функції рослин. Розчинені мінерали та поживні речовини отримують рослини через корені від води в ґрунті. Підтримка тургору, тобто тиску всередині клітин рослин, залежить від вологості ґрунту, яка допомагає рослинам підтримувати свою

структуру та форму. Крім того, вологість необхідна для поширення мінеральної солі, яка сприяє таким життєвим процесам, як фотосинтез, ріст і розвиток. Відповідна вологість ґрунту є чинником здорового розвитку та життя рослини, адже вона допомагає в збереженні тепла, зниження ризику надмірного охолодження або опалювання приміщення та допомоги рослинам вижити в умовах посухи або підвищеної вологості.

Температура повітря впливає на фотосинтез, дихання, розвиток, цвітіння та плодоношення. Завдяки оптимальній температурі рослини використовують всі доступні ресурси для зростання та розвитку. Занадто високі температури можуть призвести до перегрівання, стресу та втрати вологи через евапорацію, а також сповільнити розвиток рослин, обмежити фотосинтез і спричинити заморожування її тканини. Навіть незначні зміни температури можуть значно вплинути на врожайність і якість продукції в сільському господарстві та садівництві, контроль температури є важливим. Отже, дотримання оптимальної температури повітря має вирішальне значення для успішного вирощування рослин і забезпечення стабільного врожаю.

Останнім розглянутим фактором життя та розвитку являється вологість повітря. Вона впливає на зріст, розвиток, здоров'я та загальний стан рослин. Цей фактор визначає здатність рослини виконувати різноманітні фізіологічні процеси, такі як фотосинтез і дихання, ефективно. Рівень вологості ґрунту залежить і від цього показника повітря. Рослини можуть максимально використовувати воду, яка вбирається через корені, коли рівень вологості повітря ідеальний. Вологе середовище є корисним, оскільки рослина потребує води та поживних речовин для росту та здоров'я. Рослини також можуть забезпечити необхідний тиск у клітинах, щоб підтримувати свою структуру та форму, коли вони мають ідеальний рівень вологи. Занадто низька вологість повітря (сухе повітря) призводить до дефіциту води в рослині, що спричиняє гіпотонію тканин, погіршення фотосинтезу та дихання. Навпаки ж надмірна вологість, з іншого боку, може призвести до конденсації води на стеблах і листях. На рослині виникають грибкові захворювання та починається гниття.

### 1.3 Технологія Інтернету речей та її платформа Blynk

Інтернет речей — це система фізично пов'язаних об'єктів, або так званих «речей», які мають унікальні ідентифікатори, вбудовані в інші об'єкти, пристрої та технології, що дозволяє їм обмінюватися даними між собою через мережу без втручання людини. Корпорація Cisco Internet Business Solutions Group стверджує, що технологія Інтернету речей — це коли кількість «речей або об'єктів», підключених до Інтернету, перевищує кількість людей.

ІоТ розвивається за допомогою різноманітних технологій, машинного навчання, товарних давачів і вбудованих систем. Завдяки роботі, що здійснювалась в центрі автоматичної ідентифікації та радіочастотної ідентифікації, термін «Інтернет речей» був вперше запропонований Кевіном Ештоном у 1999 році, а пізніше використаний Массачусетським технологічним інститутом [3]

Завдяки технології Інтернету речей можна покращити зв'язок між підключеними пристроями. Інтернет речей складається з багатьох технологій, таких як радіочастотна ідентифікація, проміжне програмне забезпечення, сенсорні мережі, хмарні обчислення та інші програми, пов'язані з користувачами, які є частиною ІоТ.

ІоТ може допомогти соціальним службам і підприємствам підвищити якість послуг і зменшити потребу в людському втручанні. Таким чином, Інтернет речей створює нескінченні потоки даних і дозволяє використовувати зібрані дані, використовуючи більш інтегровані автоматизовані системи, що може призвести до більшої економії часу, енергії та коштів. Зрозумілим стає те, що через широке впровадження Інтернету речей з'являються проблеми з її роботою. ІоТ має деякі проблеми з безпекою та конфіденційністю. Повідомляється, що Інтернет речей стикається з трьома основними проблемами:

- поширений збір даних;
- шахрайство з даними споживачів;
- підвищені ризики безпеки.

При врахуванні цих проблем під час розробки основ інфраструктури системи складається план дій, що допоможе їх вирішити. Розробники апаратного забезпечення IoT повинні виконати три основні кроки під час створення апаратного забезпечення IoT, щоб підвищити безпеку та конфіденційність і завоювати довіру споживачів IoT. Далі будуть наведені кроки, задля уникнення проблем з виростанням технології IoT:

- створення більш безпечного дизайну;
- зменшення розмірів даних;
- надання більш прозорих і відповідних наборів даних для споживачів.

У системах на основі Інтернету речей взаємозв'язок базується на наявних даних, які оновлюються в режимі реального часу, доки комунікаційні технології не нададуть додаткові послуги. Інтернет речей дозволяє передавати дані з будь-якого об'єкта через мережу. Технології Інтернету речей були зарекомендовані як надзвичайно ефективні. В останні роки технологія Інтернету речей дозволила будь-яким об'єктам взаємодіяти за допомогою пристроїв у різних аспектах нашого повсякденного життя [4].

Сільськогосподарська промисловість не оминула використання технології Інтернету речей. Інтелектуальні дачі наземного та повітряного походження на сьогоднішній день досить поширені. Давачі характеристик ґрунту, метеостанції та дистанційні зображення, найчастіше використовують Інтернет речей для діагностики, керування та моніторингу даних у сільському господарстві [5]. У деяких галузях сільського господарства експлуатація технологій Інтернету речей дозволила виявити шкідників і хвороби, боротися з бур'янами, аналізувати поля та ґрунт, проводити точний моніторинг якості води, обприскувати зернові культури, оцінювати зміни полів, спостерігати за змінами клімату та загалом покращити ріст і здоров'я рослин [6]. Це свідчить про зростаючий інтерес до вивчення та використання Інтернету речей в агропродовольчій галузі [7]. IoT в сільськогосподарських системах складається з чотирьох основних компонентів:

1. Створення більш безпечного дизайну.
2. Зменшення розмірів даних.

3. Надання більш прозорих і відповідних наборів даних для споживачів.

Після проведених досліджень стало зрозуміло що, система моніторингу теплиці на основі бездротових датчиків та Інтернету була багатообіцяючою [8]. Наслідком цього була розробка спеціального програмного забезпечення для моніторингу даних і показань. Нещодавно завдяки інноваціям у технологіях і датчиках, пов'язаних з Інтернетом речей, почали використовувати розумні системи для моніторингу якості води. На рисунку 1.2 зображено технологію IoT в сільському господарстві.



Рисунок 1.2 – Технологія IoT в сільському господарстві

Було проведено дослідження, яке зосереджувалось на спостереженні за якістю води за допомогою Інтернету речей. У подальшому це надало можливість спровадити систему, яка обчислює безперервні вимірювання температури, рН та електропровідності. Для вимірювання параметрів води кожен датчик був підключений до Arduino Uno, дешевої та універсальної програмованої плати мікроконтролера [9]. Дані, що були отримані з датчиків передавались у настільну програму .NET. Після чого результати порівнювались стандартними показниками ВООЗ. Результати цього дослідження показали, що можна досліджувати параметри

якості води за допомогою системи моніторингу SWQM і швидкого бінарного класифікатора. Розроблена модель дозволяє визначити, чи містить вода шкідливі домішки та чи є забрудненою [10].

Розглянуте дослідження не єдине, що визначало параметри якості води. В іншому пов'язаному дослідженні було запропоновано економічно ефективну систему, яка використовує різні датчики, включаючи рН, температуру та каламутність. Raspberry Pi (RPi) пов'язана з датчиками через аналого-цифровий перетворювач. Клапан може зупинити потік води з верхнього бака в будинки, згідно з даними RPi та датчиків. Оскільки процес виконується автономно, система заощадила час і енергію [11].

Також було проведено додаткове дослідження, у якому було розроблено систему моніторингу ґрунту за допомогою Інтернету речей, щоб допомогти виробникам відстежувати вологість, рН і температуру ґрунту за допомогою смартфонів Android. Це дослідження дозволило виконувати моніторинг автономно. Розроблена система використовує вимірювання рН для надання рекомендацій щодо добавок до ґрунту, таких як сірка та вапно. За допомогою значень, зареєстрованих у лабораторіях, система моніторингу була відкалібрована та перевірена [12]. Результати показали, що між польовими та лабораторними даними не було помітних відмінностей. Система на основі Інтернету речей, яка була встановлена на смартфоні Android зараз пропонує практичну допомогу виробникам, сільськогосподарським експертам і дослідникам IoT.

Можливості описаної технології не обмежуються моніторингом. Концепція Інтернету речей покращує іригаційні системи та контролює водні ресурси. Існує функціональна модель для управління зрошенням і моніторингом, яка використовує розумний процесор Arduino. Результати показали, що система, яка використовує інформацію про вологість ґрунту, може ефективно контролювати процес зрошення. Коли вологість ґрунту перевищує норму або під час опадів, система зрошення запобігає викиду води (стічних вод) для поливу. Крім того, запропонована система може використовуватися для інших цілей, таких як

бездротовий зв'язок між давачами, застосунками на системі Android і Wi-Fi мережею.

Для програмної реалізації кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу використовується платформа Blynk. Вона є найбільш новітньою платформою технології Інтернету речей, яка дозволяє створювати прості мобільні застосунки, які використовують Інтернет для керування та моніторингу різноманітних електронних пристроїв і сенсорів [12]. Платформа Blynk має простий інтерфейс, який дозволяє створювати різноманітні програми для мобільних телефонів Android і iOS [13]. Користувачі можуть взаємодіяти з підключеними пристроями, стежити за даними та керувати ними з найвіддаленіших місць. Хмарні сервери, вбудовані в платформу Blynk, дозволяють керувати та зберігати інформацію між підключеними пристроями через Інтернет [14]. Доступні бібліотеки Blynk для різних мікроконтролерів і одноплатних комп'ютерів, туди входять Arduino, ESP8266 і Raspberry Pi. Ці бібліотеки дозволяють керувати Blynk з мобільного застосунка, що робить інтеграцію Blynk з пристроями швидкою та простою. Віддалене керування побутовою технікою, моніторинг рослин і тварин, управління опаленням і освітленням у будинках та багато іншого — це лише деякі з проектів Інтернету речей, що реалізуються завдяки Blynk [15].

#### 1.4 Аналогові пристрої моніторингу стану рослин в режимі реального часу

На сьогоднішній день на ринку існують прилади, що здатні здійснювати спостереження за рослинами. Вони мають як позитивні так і негативні фактори. Їх конкурентоспроможність вкрай висока тому важливо оцінити всі характеристики цих апаратів та визначитись, що їм не вистачає для ідеального функціонування.

Першим пристроєм, що буде розглянуто є Xiaomi Mi Flora. Фірма Xiaomi стала відомою, завдяки широкому асортименту побутової техніки. Модель Xiaomi Mi Flora вимірює температуру, вологість і поживні речовини в ґрунті. У Xiaomi Mi Flora є застосунок Mi Home, який обробляє дані та дозволяє їх переглядати. Це пристрій невеликого розміру. Він використовує технологію Bluetooth. У пристрій

вбудована батарея 3V CR2032. Незважаючи на всі його переваги, Xiaomi Mi Flora має низку недоліків. У приладі немає інформації про зниження рівню вологості. Тобто у випадку низької вологості ґрунту повідомлення про це на пристрої користувача не буде. У залежності від місцезнаходження є обмеження. Крім того, необхідно переконатися, що програмне забезпечення Mi Home та пристрій користувача сумісні. Xiaomi Mi Flora не може надати рослині води, якщо немає достатньої вологи ґрунту. Пристрій не працює в великих горщиках і з деякими видами субстрату. ґрунт, що містить високий показник густини не підлягатиме моніторингу. Установка приладу в горщик з орхідеєю може призвести до проблем з його роботою [16]. Xiaomi Mi Flora зображена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Xiaomi Mi Flora

Другий прилад, що буде розглянуто створений німецькими інженерами і має назву FYTA Veam [17]. Цей, як і багато подібних проєктів, збирав гроші за допомогою платформи Kickstarter і навіть досяг успіху. Він відстежує температуру, інтенсивність освітлення, вологість і родючість ґрунту. FYTA Veam використовує літій-іонні батареї. Bluetooth LE передає виявлені значення. Основним недоліком цього пристрою є те, що для передачі даних про умови рослини на великій відстані потрібно купувати додатковий концентратор FYTA Base. Незважаючи на те, що датчик FYTA Veam зазвичай є надійним, деякі користувачі помічають нестабільність у його роботі або недостатню точність вимірювань у певних умовах або під час тривалого використання [18]. Крім того, у деяких випадках прилад може бути несумісний з іншими програмами або пристроями, що може зробити його складним

для використання в інших системах моніторингу або обробки даних. Також FYTA Beam має високу ціну. FYTA Beam зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – FYTA Beam

Ще один інструмент, який можна використовувати для відстеження стану ваших рослин, — це Parrot Flower Power [19]. Пристрій постійно відстежує такі параметри, як освітленість, вологість, температура та кількість добрив у ґрунті, щоб переконатися, що рослини здорові.

Користувачі отримують сповіщення від Parrot Flower Power на своєму мобільному пристрої, що дозволяє їм швидко реагувати на будь-які проблеми, які виникають у їхніх рослинах.

Основним недоліком Parrot Flower Power є те, що він потребує постійного обслуговування та заміни батарей [20]. Цей прилад також дуже дорогий, тому багато людей не можуть його використовувати. Parrot Flower Power зображено на рисунку 1.5.

Враховуючи всі описані критерії даних приладів вони не вирішують проблеми правильного моніторингу стану рослин.



Рисунок 1.5 – Parrot Flower Power

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу вирішує поставлені завдання. Користувач може побачити показники вологості ґрунту, вологості повітря та температури повітря. Прилад точно вимірює вологість різного субстрату не зважаючи на його характеристики [21]. Може працювати де завгодно, місцезнаходження не має значення. Крім того, кіберфізична система моніторингу стану рослин має розумний горщик, який надає рослині стільки води, скільки вона потребує. Це забезпечить підтримку ідеальної вологості ґрунту. Усі функції виконуються у застосунку на смартфоні або комп'ютері [22].

### 1.5 Висновки. Постановка задачі

Отже після проведеного огляду цілей моніторингу за рослинами стає очевидним те, що проблема правильного догляду за рослинами є актуальною. Багато людей можуть виїжджати у найвіддаленіші куточки світу від своєї рослини і не мати доступу до виявлення стану в якому вона знаходиться. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу має на меті надати своєму користувачу можливість регулярно надати воду у ґрунт, а також перевіряти

вологість та температуру повітря в якому знаходиться об'єкт спостереження. Людей у світі багато, а отже і цілі для яких вони вирощують рослину також багато. Хтось це робить для краси та естетичної привабливості, а інші для споживання. Також основною темою над, якою працюють екологи є збереження природних ресурсів і озеленення. Залежно від виду рослини, вона здатна покращити якість повітря та навколишнього середовища. Основна ціль роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу полягає в забезпеченні бездоганних умов для життя рослини та її розвитку.

Рослина перебуває в певних умовах свого проживання, а тому для спостереження стану рослини потрібно розглянути їх. Вологість ґрунту впливає на розвиток рослини, адже вода являється провідником життєдіяльності. Цей компонент є дуже важливим адже він впливає на фізіологічні процеси рослин, адаптацію та врожайність. Температура навколишнього середовища не менш важлива для життя рослин. Вона є чинником правильного фотосинтезу, дихання та розвитку. Оптимальна температура являється тим основним фактором, що дозволяє рослинам функціонувати ефективно та максимально використовувати доступні ресурси для зростання. Вологість повітря у свою чергу дозволяє рослині споживати необхідний тиск у клітинах, щоб підтримувати свою структуру та форму.

Після проведення дослідження на характеристики життєдіяльності рослини, було здійснено огляд на відомі рішення спостереження за станом рослин. І висновком є те, що на сьогоднішній день пристрої моніторингу не вирішують проблеми правильного моніторингу за рослинами. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу вирішує поставлені завдання.

Для вирішення поставленого завдання потрібно виокремити такі основні пункти роботи:

- визначити особливості кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- спроектувати архітектуру кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;

- виокремити випадки, що можуть відбуватись при використанні;
- встановити методи виміру вологості ґрунту, вологості та температури повітря;
- здійснити вибір апаратних складових, що виконують завдання роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- зробити принципову схему кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- реалізувати апаратно-програмну частину кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу;
- провести висновки по науково-дослідній роботі.

## **2 МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

### **2.1 Особливості кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу**

Насамперед необхідно визначити поняття та характеристики кіберфізичної системи. Кіберфізичні системи (КФС) — це системи, які складаються з фізичних систем (апаратних засобів), систем програмного забезпечення та іноді інших типів систем [23]. КФС тісно пов'язані між собою та мережею. Апаратною складовою у таких системах є датчики, приводи та інші вбудовані системи, які взаємодіють із реальним світом і складними компонентами програмного забезпечення. Сільське господарство, транспорт, домашня автоматизація, охорона здоров'я, енергетика та багато інших соціально важливих сфер є місцями, де можна знайти приклади КФС. Зважаючи на те, що метою дослідження є моніторинг стану рослин, кіберфізичні системи, які застосовуються в сільському господарстві, будуть детально розглянуті [24].

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу представляє собою інноваційні технологічні рішення, які відкривають нові можливості для сільськогосподарського сектора. Ця система поєднує в собі компоненти фізичних датчиків, бездротового зв'язку, хмарних обчислень та штучного інтелекту для постійного моніторингу та аналізу стану рослин у реальному часі. Одною з основних завдань, що вирішує кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу є підвищення врожайності, ефективності використання ресурсів та зменшення втрат у сільському господарстві.

Однією з ключових особливостей кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є її здатність надавати інформацію без затримок. Поточна передача даних у режимі реального часу передбачає збирання та отримання послідовності даних з різних джерел. Крім того, завдяки оперативній обробці даних можна отримати значення та аналітичні дані [25]. Це означає, що

дані про стан рослин передаються та обробляються без затримок, що дозволяє сільськогосподарським діячам швидко реагувати на будь-які зміни в умовах вирощування [26]. Наприклад, система може автоматично повідомити фермера, якщо датчик виявив підвищення вологості повітря або ґрунту. Вона також може активувати системи автоматичного поливу та додавання добрив. Ще однією важливою характеристикою є можливість інтеграції кіберфізичної системи з іншими сучасними технологіями. Наприклад, дані, зібрані системою моніторингу, можуть бути аналізовані за допомогою штучного інтелекту для прогнозування розвитку рослин, виявлення шкідників або хвороб, а також для оптимізації сільськогосподарських процесів. Також кіберфізичні системи можуть легко інтегруватися з системами управління господарством, що дозволяє автоматизувати багато аспектів сільськогосподарського виробництва [27].

Необхідно також відзначити значення бездротового зв'язку в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Бездротові технології дозволяють передавати дані з датчиків до центральних обчислювальних систем без потреби в провідних з'єднаннях. Це робить функціональні можливості більш гнучкими і зручними у встановленні та експлуатації, оскільки немає вимоги в прокладанні кабелів по всьому полі чи саду [28].

У сучасному світі, де сільське господарство стає все більш пов'язаним з технікою, кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу відіграє важливе значення у вдосконаленні процесів вирощування. Використання її фермерами знизить витрати на виробництво. Помітно збільшиться врожайність та зменшиться негативний вплив на навколишнє середовище. Розвиток та впровадження кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є важливим кроком у напрямку створення більш стійкого та ефективного сільського господарства [29].

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу має ряд значних переваг. Першою перевагою виявляється висока продуктивність. Дані про стан навколишнього середовища та ріст рослин можуть допомогти оптимізувати використання ресурсів системи, таких як енергія, вода, добрива,

грунт і інші. Це приведе до зниження витрат і підвищення заощаджень. Крім того, було продемонстровано, що це дуже стійкий метод ведення життєдіяльності рослин [30].

Очевидно, що здоров'я рослин покращиться завдяки постійному моніторингу їх стану. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу допомагає підтримувати та контролювати здоров'я рослини, що призводить до більшої врожайності та кращої якості продукції. Виявлення ранніх ознак хвороби або стресу забезпечене. Зменшення потреби в хімічній обробці покращує безпечність харчових продуктів і стійкість навколишнього середовища.

Крім того завдяки кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу прийняте рішення щодо того, коли та як проводити обробку, наприклад, добривами чи пестицидами стає обґрунтованим та розумним. Це зменшує кількість відходів та ризиків надмірного використання хімікатів, які можуть бути шкідливими для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу надає віддалений контроль. Це допомагає підтримувати здоров'я посівів і вносити зміни з будь-якої точки світу, якщо є підключення до Інтернету. Також заощаджується величезна кількість часу та значно зменшуються витрати на оплату праці [31].

Основні характеристики, що вказують на успішність кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу наведено на рисунку 2.1

Потрібно розібрати кожний пункт детально для кращого розуміння всіх аспектів.

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу керує великими обсягами даних, отриманих від сенсорів, опрацювання яких повинно бути ефективним і своєчасним, оскільки фізичні процеси тривають незалежно від результатів обчислень. Однією з основних переваг є те, що дані з сенсорів надходять на пристрій користувача дуже швидко. Задовольнити цю вимогу допомагає наявність високої пропускнуєї спроможності. Даний функціонал

є обов'язковим оскільки несвоєчасне виконання дій може призвести до спотворення інформації.



Рисунок 2.1 – Чинники успішності кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Необхідно зберігати й аналізувати великі обсяги даних, що надходять від різних мережевих пристроїв, опрацьовувати їх і в реальному часі виводити результати [32]. Управління даними здійснюється з використанням відкладеного або оперативного поточного опрацювання залежно від призначення. Потоки даних надходять постійно і в реальному часі, тому інформація швидко змінюється. Опрацювання повинно ґрунтуватись на адаптивних та постійних запитах.

Всі успішні пристрої надають користувачу гарантовану надійність не виключенням є кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу можливе в таких важливих секторах, як охорона здоров'я,

інфраструктура, транспорт, агропромисловість і багато інших, де основними вимогами є надійність і безпека, оскільки виконавчі елементи впливають на навколишнє середовище та здоров'я людей. Непередбачувані умови не впливають на роботу і є функціонал адаптації до будь-якого впливу.

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу забезпечує безпеку комунікацій, оскільки всі дії координуються між складовими приладами без затримок.

Розширення масштабу та обсягу взаємодії між фізичними й обчислювальними системами не ускладнює завдання забезпечення безпеки. Захищеність як поточних даних, так і даних, що вже зберігаються і будуть використовуватись у майбутньому, являється обов'язковим чинником, що вказує на успішність [33]. Окрім того проблем не виникає навіть коли використовуються різні застосунки і бездротові комунікації.

Значна проблема полягає у підтримці балансу між збереженням конфіденційності та захистом персональних даних і доступністю даних для надання якіснішого обслуговування.

Навіть попри те, що кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу керує значними обсягами даних, що містять конфіденційну інформацію, це не викликає проблем у забезпеченні їх конфіденційності [34].

Різноманітність даних необхідна для підтримки всіх функцій кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Ефективність взаємодій і розроблення комунікаційних протоколів при цьому не пошкоджуються. Вдалий пристрій повинен бути здатен підтримувати велику кількість різних застосунків і приладів.

При розробці кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу потрібно враховувати міжнародні стандарти наступних рівнів: перетворення даних на інформацію, кіберобчислень, пізнання, конфігурації. Структура міжнародних стандартів для КФС наведена на рисунку 2.2.

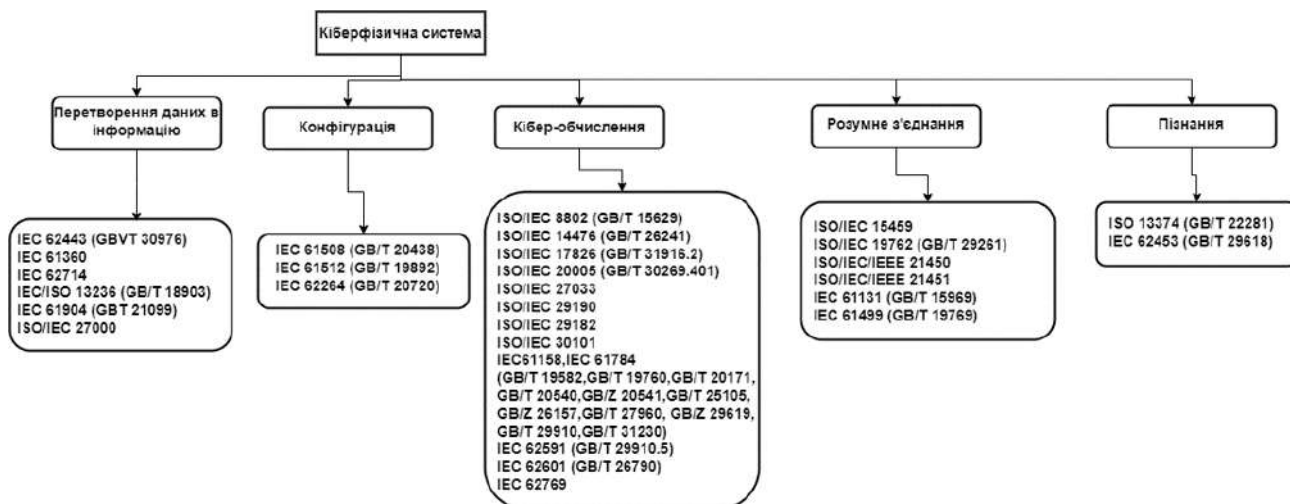


Рисунок 2.2 – Структура міжнародних стандартів для КФС

Першим розглянутим рівнем є кіберобчислення. На ньому обчислення і комунікація є найважливішим елементом. Стандарти, необхідні для обміну даними та інформацією через КФС, включають стандарти дротового та бездротового зв'язку. ISO/IEC 8802 містить міжнародні стандарти, які описують локальні мережі. Стандарти дротового зв'язку різні. Стандарти IEC 61158 та IEC 61784 визначають типи та профілі шин, включаючи загальні промислові протоколи, PROFIBUS і PROFINET, P-Net, WorldFIP, INTERBUS, SwiftNet, CC-Link, HART, VNET/IP, TCnet, EtherCAT, Ethernet POWERLINK Ethernet for Plant Automation (EPA), Modbus, SERCOS, Rapi Net, SafetyNet p і MECHATROLINK. Ці протоколи дозволяють бездротовому управлінню КФС у працювати у реальному часі. Якісна та сучасна промислова мережа має використовувати зазначені стандарти для зв'язку сенсорної та машинної мережі. ISO/IEC 29180, ISO/IEC 20005, ISO/IEC 29182, ISO/IEC 30101, а також ISO/IEC 30128 використовуються для започаткування інтелектуальних та надійних і не менш важливо безпечних сенсорних мереж. Ще, ISO/IEC 17826 задає інтерфейс для доступу до хмарного сховища та керування даними, що зберігаються всередині [35]. Стандарти ISO/IEC 27033 надають мережі властивість надійності. У свою чергу IEC 62769 застосовується задля інтеграції пристроїв із використанням комунікаційних технологій.

Наступним є рівень пізнання. У ньому головним є моніторинг та прийняття рішень. Серія ISO 13374 надає основні вимоги до відкритих специфікацій програмного забезпечення, через, що машини отримують змогу контролювати дані, що полегшує їх опрацювання та зв'язок. IEC 62453 нормує інтегрування всіх пристроїв незалежно від постачальників [36].

Перетворення даних на інформацію є ще одним рівнем, який включає опрацювання даних на рівні інтелектуального з'єднання та аналізу. Стандарти IEC 61804-3, IEC 6180-5, IEC 61804-4 та IEC 61804-6, також відомі як мови електронного опису пристроїв, або EDDL задають опис характеристик пристроїв. Усі елементи електротехнічних систем, від основних компонентів до вузлів і повноцінних систем, мають характеристичні властивості (типи елементів даних), визначені серією IEC 61360. Крім того, серія IEC 62714 передбачає у собі формати обміну даними, також відомі як автоматизовані мовні розмітки (AML). Наведені стандарти обов'язково надають гарантію про те, що дані будуть уніфіковані. Відповідно до стандарту IEC/ISO13236:1998, високоякісна система стосується середовища інформаційних технологій (IT) [37]. У стандарті ISO 27000 містяться рекомендації щодо найкращої практики у галузі інформації та управління і контролю ризиків з метою досягнення безпеки даних, оскільки безпека даних є важливим питанням. Серія IEC 62443 (ISA99) забезпечує комплексний захист і безпеку промислових систем автоматизації та управління [38].

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу задовільняє всім міжнародним стандартам.

Кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу можна застосовувати у різних галузях сільського господарства, а саме: у вирощенні кормових культур, фруктів та овочів, нагляду за рослинами, які обприскують отрутохімікатами і добривами, а також в теплицях та при догляді за домашніми рослинами. Далі буде наведено різні сфери агропромислового комплексу і чому в них необхідно використовувати кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу [39].

Кожного року фермери вирощують кормові культури для годування тварин. Таким чином, вони повинні стежити за показниками навколишнього середовища, які стосуються цих рослин. Не можна заперечувати те що, це є вирішальним фактором для вдалого врожаю [40]. Рослина, яка була вирощена в неправильних умовах переносить різноманітні хвороби, що погіршують самопочуття або навіть призводять до смерті.

При вирощуванні фруктів також важливо стежити за рівнем вологи в ґрунті, щоб запобігти процесу гниття. Продукти, які гниють, містять шкідливі бактерії, грибки та токсини. Харчове отруєння може виникнути в результаті вживання гнилих фруктів і овочів. Отруєння їжею виникає, коли бактерії, такі як сальмонела, кишкова паличка або лістерія, потрапляють у їжу та виробляють токсини, які можуть викликати захворювання [41].

Наразі майже всі рослини, що вирощуються для продажу, обприскуються отрутохімікатами та добривами, що сприяє щедрому урожаю. Зрозуміло, що такі дії вживають не лише фермери, але й власники приватних городів у селах і навколишніх містах. Отрутохімікати використовуються для боротьби з комахами, гризунами та бур'янами. Завдяки цим компонентам врожай росте набагато швидше і має привабливий вигляд, що дозволяє продавцям заробляти значно більший прибуток на своєму товарі. Але попри так звану користь для врожаю отрутохімікати і добрива несуть значно більший негативний вплив на довкілля та на життя і здоров'я людини [42]. Добрива забруднюють повітря, ґрунти та водні ресурси, включаючи підземні водоносні горизонти. Розпилення пестицидів потрапляє на велику кількість земель, знищуючи листя дерев і іншу рослинність. Також ці шкідливі речовини протистоять комахам та іншим живим створінням. Наприклад бджоли, які служать показником здорового середовища, вимирають, коли на них потрапляють пестициди. Зважаючи на всі переваги та недоліки використання отрутохімікатів, очевидно, що необхідно постійно контролювати їх присутність у повітрі та ґрунті. Фермери, які вирощують рослини, можуть використовувати кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі

реального часу, щоб спостерігати, як рослини відповідають на добрива, зміни якості повітря та ґрунту, щоб запобігти перенасиченню рослин цими домішками.

Більшість господарів використовують теплиці для вирощування різноманітних рослин, таких як квіти, фрукти та овочі [43]. Ця система надає рослинам достатню кількість повітря, світла, поживних речовин та води. Рослини в теплиці настільки ж чутливі до перезволоження чи посухи, як і будь-які рослини в кімнаті чи контейнері. Ґрунт має постійно обробляти господар. Збагатити землю вологою та поживними речовинами обов'язок людини, що вирощує рослину. Періодичне постачання води є ще одним фактором, який сприяє здоровому росту врожаю. Якщо рослини на відкритих грядках отримують вологу лише у період посухи, коли дощів недостатньо, то рослини в теплиці забезпечені водою безперебійно [44]. Можна вважати, що кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу виступає як своєрідна теплиця, тому що забезпечує автоматичне надання води, при необхідності, враховуючи потреби рослини у ній. Вологість повітря та кількість поживних речовин також потрібно контролювати. Розрахунок вологості та поживних речовин здійснює давач, що приймає отримані з ґрунту дані та передає їх на смартфон або комп'ютер для подальшого аналізу. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу виконує саме таку функцію [45]. Навіть якщо господар встановив кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу і знаходиться не поруч з її місцезнаходженням, контролювати стан рослин можливо через смартфон, що синхронізовано з компонентами системи [46].

Зазвичай вирощують рослини у вазонах саме у приватних будинках, квартирах і різних установах. Ці рослини можуть мати або не мати квітів. Залежно від породи як і будь-яка інша рослина, тип, що вирощується в приміщенні, потребує правильного догляду. Необхідно підтримувати рівень вологості та температури повітря. Існують рослини невеликі та красиві, що прикрашають інтер'єр, тому їх зазвичай садять у горщиках для зручності. Але такі горщики не надають води рослині, вони є лише місцем її росту. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу обладнана розумним горщиком. Він постачає

рослину вологою. Причому завдяки давачам дана функція виконується тільки при необхідності, у період підсихання ґрунту. Вода, що надається рослині завжди відстояна та має кімнатну температуру [47].

Підсумовуючи всі вище наведені функції кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу можна класифікувати основні її призначення. Класифікація призначень кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Класифікація призначень кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Аналізуючи класифікацію наведену на рисунку 2.3 можна зробити висновок, які функції входять до кожного призначення:

1. Здійснення моніторингу факторів навколишнього середовища являється процесом збору інформаційних даних, що містяться в середовищі в, якому знаходиться рослина. А саме вологість ґрунту, вологість та температура

повітря, рівень води, що потрібно надати рослині, а також кількість води, яка знаходиться в горщику.

2. Прогнозування відбувається після збору даних та передачі їх на сервер. Це призначення необхідне, щоб провести обробку та аналіз отриманих даних. Враховуються всі аспекти зібраного матеріалу.

3. Оптимізація роботи передбачає надання подальшій діяльності найвигідніших умов. Тобто, не здійснювати зайвих кроків (надмірного надання води субстрату, перенасичення ґрунту добривами, збільшення вологості та температури повітря).

4. Створення компонентів для фізичного світу відбувається за рахунок оптимізації роботи. Таким чином, після визначення найкращого плану дій потрібно приступити до створення компонентів. Це схоже на підготовку до прийняття рішення. Компонентами є вода, добрива та засіб, що надає підвищення або зниження температури.

5. Прийняття рішення та його виконання базується на постачанні або навпаки не наданні води, тепла, добрив рослині. Це залежить від раніше вказаних пунктів.

6. Забезпечення або підтримка життєздатності рослини ґрунтується на постійному моніторингу в режимі реального часу факторів її стану. Це тривалий процес, що вимагає чималих зусиль. Адже одного моніторингу буде недостатньо для вирощення здорової рослини.

При виконанні всіх призначень важливо дотримуватись правильної послідовності не пропускаючи кожної функції [48]. При збитті послідовності кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу не дасть того результату, який потрібен. Також послідовно здійснена робота буде ефективнішою та продуктивнішою. Життєвий цикл кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу буде функціонувати тільки з дотриманням всіх етапів його роботи [49]. Кожний крок вимагає зосередження на ньому та детального опрацювання. Від цього буде залежати кінцевий результат роботи.

## 2.2 Архітектура кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Для розробки архітектури кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу потрібно розуміти в загальному з чого складається КФС [50]. Інтеграція фізичних процесів з комп'ютерними та інформаційними технологіями це запорука для створення розумної та автоматизованої системи. Далі буде наведено компоненти кіберфізичної системи:

- фізична інфраструктура;
- кібернетична система;
- інтеграція та управління;
- безпека та захист.

Розглянемо детально кожен компонент КФС, для розробки архітектури кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Розпочати потрібно з фізичної інфраструктури. Вона є ключовою частиною, яка гарантує функціонування та взаємодію між фізичними та кібернетичними компонентами системи. Цей інфраструктурний комплекс складається з великої кількості фізичних компонентів, пристроїв і обладнання, які використовуються для контролю, спостереження, збору даних і керування фізичними процесами. При розробці фізичної інфраструктури кіберфізичної системи важливо враховувати такі елементи, як сенсори, актуатори, мережеве обладнання, фізичні процеси та пристрої, а також інтеграційні засоби. На цьому рівні КФС необхідно визначити пристрої, які будуть надавати інформацію про моніторинг параметрів навколишнього середовища та забезпечувати доступ надання води в ґрунт [52]. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу збирає дані про рівень вологості у ґрунті та повітрі, температуру повітря і рівень води у горщику. Сюди входять також пристрої, що впливають на фізичні об'єкти навколишнього середовища, тобто це повітря, ґрунт. Адже на основі моніторингу визначається чи потрібно змінювати температуру повітря та його вологість, а також кількість води у ґрунті і горщику. До фізичної інфраструктури належать об'єкти над,

якими здійснюється нагляд та аналіз. Це повітря та ґрунт в, якому знаходиться рослина. Ці параметри надаються інформацію про фактори, що впливають на рослину, отже на основі них можна робити висновки, щодо потреб рослини.

Кібернетична система створюється після вивчення фізичної інфраструктури. Використовуючи кібернетичні технології та методи, вона контролює та керує фізичними процесами. Ця система включає різні частини, щоб забезпечити ефективну взаємодію між кібернетичним та фізичним світом, включаючи обчислювальні пристрої, сенсори, алгоритми, мережеві технології та програмне забезпечення. Arduino IDE є важливою частиною кібернетичної складової кіберфізичної системи для моніторингу стану рослин у режимі реального часу. Ця програма, збирає та обробляє інформацію, яку накопичують сенсори та датчики. Алгоритм у програмному забезпеченні Arduino IDE дозволяє перевіряти та налаштовувати фізичні об'єкти. Кібернетична система також включає Blynk. Встановивши її на смартфон користувач кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу керує датчиками, сенсорами. Саме у цьому середовищі відбувається взаємодія між користувачем та кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Аналізуючи отримані дані власник рослини робить висновки, щодо подальших дій пов'язаних з доглядом [53].

Взаємодіючими компонентами кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є фізична інфраструктура та кібернетична система але, щоб дозволити цій взаємодії працювати потрібна комунікаційна інфраструктура. Бездротова технологія ідеальне рішення для кіберфізичної системи моніторингу стану рослин у режимі реального часу, оскільки дозволяє пристроям і компонентам системи зв'язуватися між собою без проводів. Використання мережі Wi-Fi може забезпечити стабільний, швидкий зв'язок для пристроїв у великих приміщеннях або на відкритих територіях. Таким чином, користувач може керувати системою, незважаючи на те, що він знаходиться далеко від горщику з рослиною. Звичайно, така функція неможлива при використанні дротової технології. Інтернет речей забезпечує передачу даних у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Ця технологія

забезпечує подачу води у ґрунт. Дані дії виконуються автоматично, без втручання людини. Передача даних повинна відбуватися правильно та з надійністю за допомогою протоколів комунікації. Це допоможе створити впевненість у сумісності пристроїв комунікації. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) використовується у роботі кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. У інтерфейсі можна керувати процесами за допомогою протоколу API [54].

Компоненти кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу встановлено, після цього потрібно налаштувати комунікацію між цими складовими. Інтеграція та управління відповідають саме за цю функцію. Wi-Fi модуль збирає дані отримані давачами та сенсорами та надсилає їх до кібернетичної системи. Управління та комунікацію встановлює алгоритм написаний в Arduino IDE. Завдяки програмному коду проводиться обробка інформації, що надійшла з фізичної інфраструктури. Отримані дані потребують аналізу для виявлення закономірностей, аномалій та трендів у стані рослин. Для ефективною обробки та аналізу великих обсягів даних програмний код, написаний в Arduino IDE, може включати алгоритми обробки сигналів, статистичний аналіз, машинне навчання та інші методи. Програмний код може використовувати оброблені дані для вирішення багатьох питань управління системою, наприклад, регулювання поливу. Надання води виконується в реальному часі завдяки заздалегідь визначеному алгоритму. Алгоритм містить механізм, який керує різними пристроями, такими як давачі, драйвери, сенсорні модулі та насоси поливу. Це дозволяє користувачу кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу реагувати на зміни у стані рослин і їх оточення в режимі реального часу, створюючи умови для здоров'я та росту рослин [55].

Безпека та захист у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу є критично важливими аспектами. Оскільки дані, які містяться в фізичних і кібернетичних компонентах, повинні бути захищені від різних типів загроз, таких як кібератаки, випадки неправомірного доступу та небажана або ненавмисна зміна даних. Кібератаки спрямовані на несанкціонований доступ до

системи, щоб отримати конфіденційну інформацію, таку як дані про стан рослин, або змінити параметри системи, щоб завдати шкоди рослинам або оточуючому середовищу. У кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу використовуються заходи безпеки, такі як шифрування даних, аутентифікація та авторизація користувачів, відслідковування та моніторинг активності користувачів, а також виявлення та відстеження аномальної поведінки. Крім того, для забезпечення безпеки важливо використовувати резервне копіювання та відновлення даних [56]. Це захищає дані від втрати або пошкодження в результаті аварій або кібератак. Для цього у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу проводиться постійне та регулярне створення резервних копій даних та зберігання їх в безпечному місці, а також впровадження планів відновлення після аварій. Важливим фактором безпеки програмного забезпечення є постійне тестування системи на вразливості та аудит коду на предмет виявлення потенційних проблем [57].

Підсумовуючи інформацію, що була подана для розробки правильної архітектури кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу потрібно віднести всі компоненти до груп їх функціонування. У таблиці 2.1 наведено класифікацію компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Таблиця 2.1 – Класифікація компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Назва класифікації	Складові класифікації	Компоненти	Призначення
Фізична інфраструктура	Вимірювальні пристрої	Давач, сенсорний модуль, драйвер, насос	Збирає дані про стан навколишнього середовища та впливає на нього

Кінець таблиці 2.1 – Класифікація компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Назва класифікації	Складові класифікації	Компоненти	Призначення
Фізична інфраструктура	Фізичні процеси та системи	Повітря, ґрунт, рослина	Являється об'єктом, над яким проводиться моніторинг
Кібернетична система	Системи збору та обробки даних	Arduino IDE	Обробляють та аналізують дані, зібрані від вимірювальних пристроїв
	Системи керування	Blynk	Керують фізичними об'єктами
Комунікаційна інфраструктура	Мережеві зв'язки	Wi-Fi, Internet, IoT	Обмін даними між фізичними та кібернетичними компонентами
	Протоколи та стандарти	TCP/IP, API	Задають правила та формати обміну даними
Інтеграція та управління	Інтерфейси зв'язку	Wi-Fi модуль	Бездротове з'єднання через Wi-Fi
	Управління та координація	Програмний код, загальна плата	Обробка даних, що надійшли з вимірювальних пристроїв
Безпека та захист	Захист даних	Автентифікація, шифрування	Забезпечення конфіденційності

Провівши аналіз компонентів, функцій, які повинна виконувати кіберфізична системи моніторингу стану рослин в режимі реального можна розробити архітектуру її роботи. Вона складається з відображення всіх складових та їх взаємодії між собою у системі. Успішність працювання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу залежить від правильності складання архітектури [58]. Розробка архітектури роботи системи є ключовим етапом у процесі створення будь-якого технічного пристрою. Вона дозволяє досягнути забезпечення ефективності, надійності та масштабованості. А ще сприяє зниженню ризиків та витрат на подальші стадії розробки та експлуатації. Отже архітектура роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу зображена на рисунку 2.4.

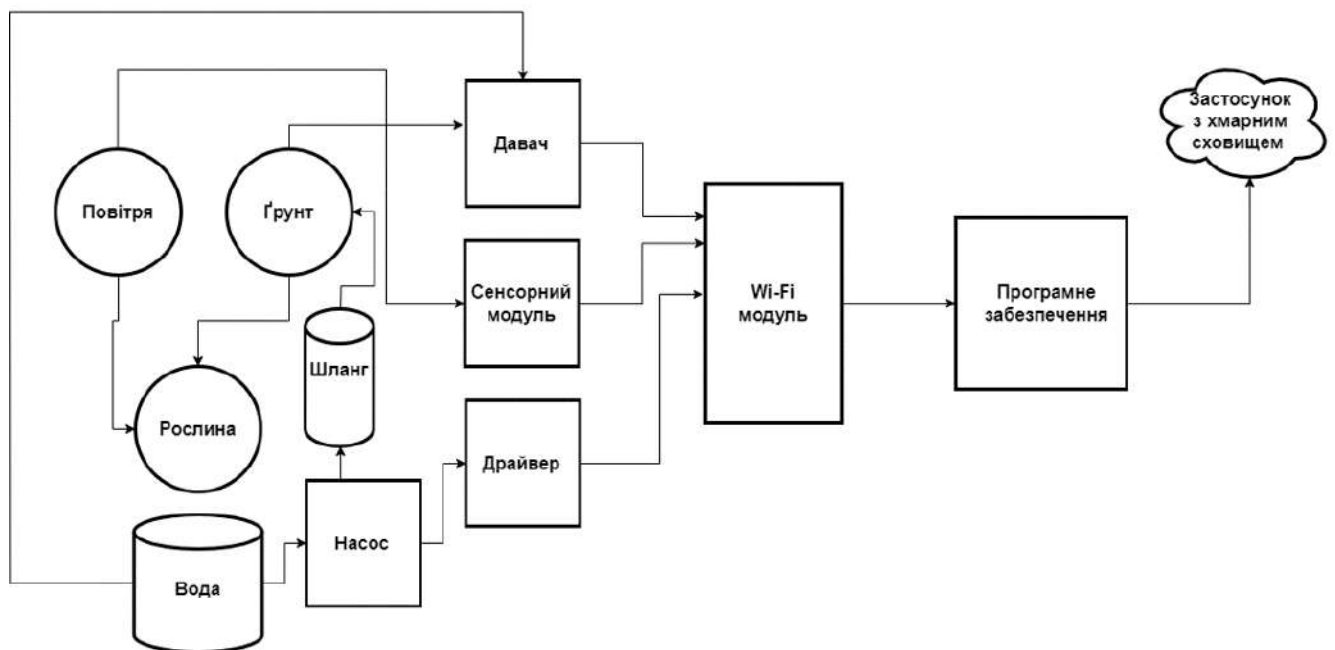


Рисунок 2.4 – Архітектура кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Розберемо роботу кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу [59]. Давач та сенсорний модуль зчитують дані про вологість ґрунту та повітря, температуру повітря та рівень води у першому горщику. Пристрій Wi-Fi модуль збирає дані отримані від давача, сенсорного модулю та надсилає їх на

Arduino IDE. Після чого отримані дані обробляються та аналізуються, завдяки програмному коду, для вирішення подальших дій пов'язаних з підвищенням або навпаки зниженням температури та рівня води [60]. Якщо вологи у ґрунті достатньо і додаткового зволоження не потрібно вода не надається, у випадку ж недостатнього рівня води її можна надати. Також визначається кількість води у першому горщику. Давачем вимірюється рівень води. Всі ці операції контролюються Arduino IDE і потім відправляються на сервер Blynk де користувач може робити аналітику і вирішувати подальші дії пов'язані з вирощенням рослини. Таким чином, людина, що використовує кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу має можливість сама приймати рішення, про подальші дії пов'язані з рослиною. Додати вологи, освітленості, тепла або поживних речовин у ґрунт, якщо цього вимагають показники повітря, ґрунту, а також долити води у перший горщик. Архітектура встановлених компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу зображено на рисунку 2.5.

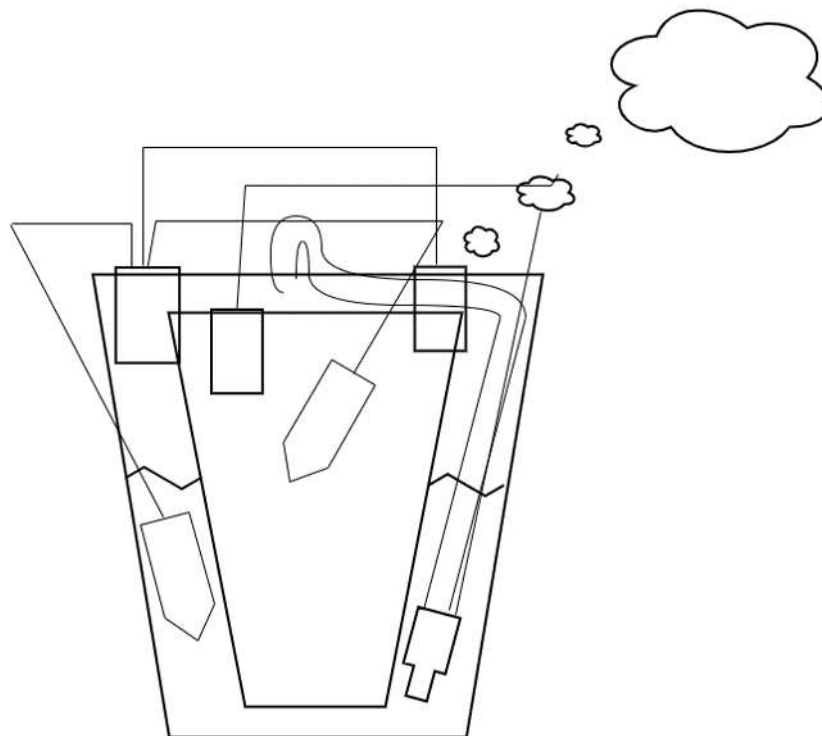


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення встановлених компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Архітектура кіберфізичної системи моніторингу стану рослин побудована так, що датчики, сенсори, модулі, насос і шланг встановлюються на горщик. Wi-Fi модуль та датчик вологості, температури повітря прикріплюється на зовнішній горщик. У внутрішній горщик, зверху встановлюється шланг через, який подається вода у ґрунт з рослиною. Всередину субстрату кладеться датчик вологості. Відповідно вода наливається всередину одного горщика і всередину нього встановлюється ще один. Насос потрібно покласти в горщик з водою. Завдяки насосу та шлангу вода потрапляє у ґрунт з рослиною. Всі пристрої встановлені так, щоб виміри даних з ґрунту, води та повітря були максимально точними і правильними. Розташування компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу надає їм можливість встановлювати параметри без похибок.

### 2.3 Використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є важливим етапом у забезпеченні її ефективності та тривалості служби. Користувачі повинні дотримуватися певних правил та рекомендацій, щоб забезпечити правильну роботу, уникнути можливих проблем та максимально використовувати можливості, що надає кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу [61].

Перш за все, перед початком використання користувачам слід уважно ознайомитись з правилами експлуатації. Вони містять важливу інформацію щодо правильного підключення, налаштування та використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, а також надають рекомендації з техніки безпеки. Потрібно розглянути ці правила більш детально перед початком використання.

Для забезпечення надійності та стабільності роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, її слід встановлювати на рівню

та стійку поверхню. Потрібно уникати встановлення на місцях з високими температурами, вологістю, вібрацією чи перепадами напруги, оскільки це може призвести до збоїв у роботі. Як зазначалося раніше, у горщику знаходяться компоненти, які відповідають за вимірювання вологості, температури та рівня води. Для того, щоб давачі могли точно відстежувати стан рослин, важливе їх розташування, чітко в зоні росту рослин. Неправильне розташування призведе до не чітких результатів. Це може бути на рівні землі, у коло листків або навіть у кільці стебла. Важливо пам'ятати, що місцезнаходження пристроїв зчитування характеристик навколишнього середовища впливає на точність збору даних. Таким чином, наведені правила повинні бути дотримані при встановленні вимірювальних пристроїв у горщику.

Важливим аспектом правильної роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є регулярне апаратне обслуговування. Процес спостереження за рослинами вимагає постійного обслуговування та перевірки пристроїв, що використовуються під час роботи. Це включає видалення бруду та пилу з труб. Для цього необхідно використовувати спеціальні засоби для чищення електроніки та м'якої тканини. Необхідно калібрувати інструменти та регулярно перевіряти кабелі та з'єднання.

Також необхідно знаходитись у приміщенні де є можливість забезпечення постійного живлення. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу потребує стабільного джерела живлення. Важливо перевірити, чи є достатньо живлення, та використовувати їх правильно. При підключенні кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу до електромережі необхідно переконатися, що напруга та тип живлення відповідають всім необхідним вимогам. Компоненти, що використанні для розробки кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу лише оригінальні. Підробок при розробці не використовувалось.

Не менш важливим правилом використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є правильний аналіз отриманих даних. Зібрані дані за рахунок моніторингу слід правильно аналізувати та

інтерпретувати. Важливо мати чітке розуміння того як зібрані дані впливають на стан рослини. Це дасть можливість покращити стан рослини.

При виконанні будь-якої роботи потрібно мати чітке розуміння того для чого вона виконується. Отже головною функцією використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є покращити життя рослинам. Тому при виявленні поганих умов її розвитку потрібно реагувати на відкриті проблеми. Якщо датчик виявляють аномальні значення або зміни в стані рослин, важливо негайно реагувати та вживати необхідні заходи для відновлення нормального росту та розвитку [62].

Перед використанням кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу виконується перевірка правильності налаштувань. Це робиться в програмному забезпеченні. Спочатку перевіряється наявність підключення всіх датчиків, модулів, а також наявність Wi-Fi модулю. Мережа Інтернет повинна працювати без збоїв інакше користувач зіткнеться з проблемами експлуатації. Також, якщо аналіз зібраних даних здійснюється в застосунку на мобільному пристрої, проводиться реєстрація та верифікація. Перед основною роботою з кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу потрібно провести тестовий запуск [63].

Під час експлуатації кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу слід уникати надмірного навантаження та перевищення максимально допустимих параметрів компонентів. Потрібно пам'ятати, що неправильне використання може призвести до пошкодження [64].

При виникненні будь-яких проблем або несправностей у роботі кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу слід негайно відключити її від живлення.

Далі буде розглянуто варіанти використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Для цього необхідно зробити діаграму використання. Діаграма використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу зображена на рисунку 2.6.

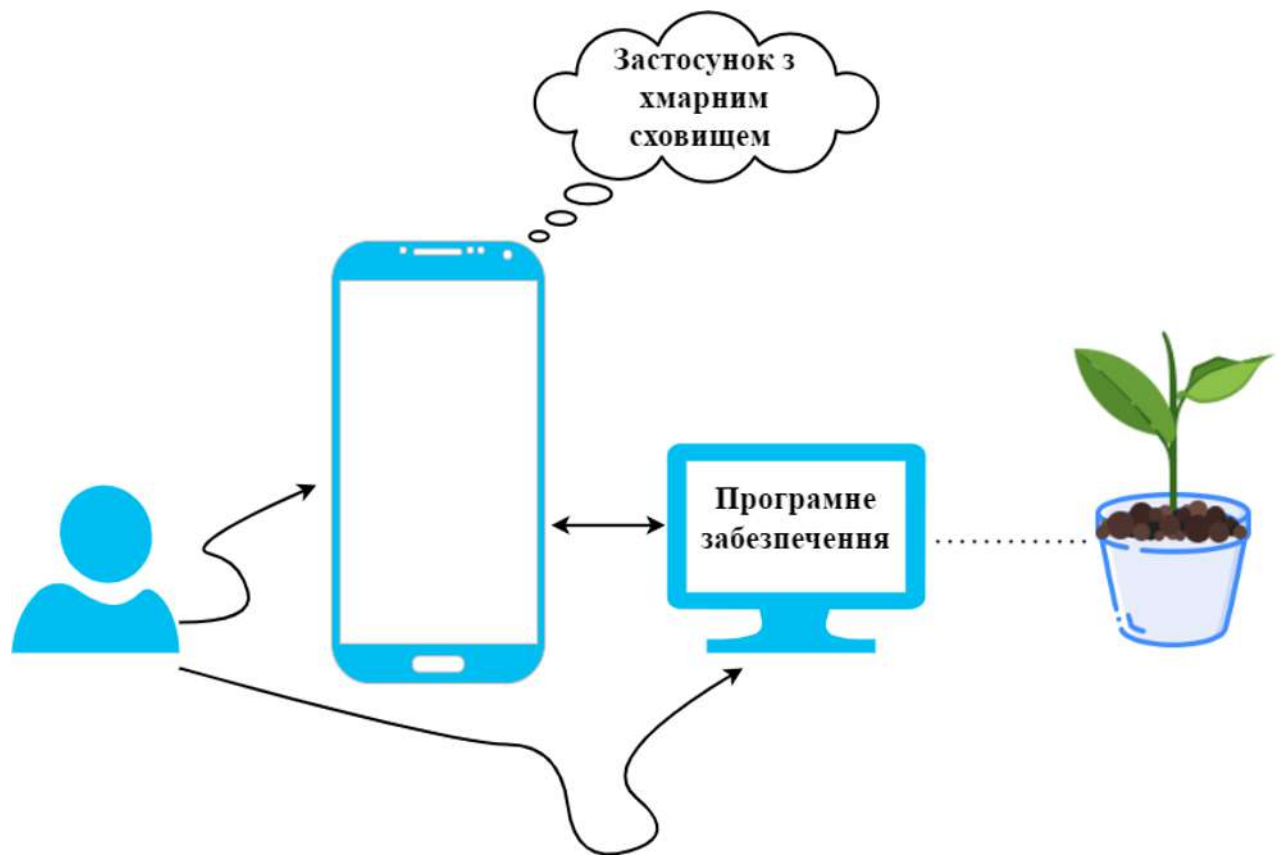


Рисунок 2.6 – Діаграма використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Експлуатація кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу може мати різні варіанти. Перед тим як розглянути неоднакові варіанти використання потрібно розуміти те, що підготовка до застосування кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу у всіх користувачів однакова. Без цього робота система буде неправильною. Розпочинається все з обрання місця встановлення. Орієнтуватись необхідно на особливості самої рослини, моніторинг якої буде виконуватись. А саме визначити характеристики правильного її утримання. Далі рослина поміщається у перший горщик, в який перед цим додається ґрунт. Розміщуємо посудину у другий горщик додавши туди води. Давач встановлюється у середину другого горщика для виміру кількості води у ньому. Отже рослину встановлено. Давач виміру вологості встановлюється всередину горщика з рослиною. Давач вологості та температури повітря встановлюється зверху на другому, зовнішньому горщику. Підготовка

завершена. Далі буде розглядатись два варіанта використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу: за допомогою програмного забезпечення, за допомогою мобільного застосунку [65].

Користувач вирішив скористатись програмним забезпеченням для цього він заходить у систему запускає код та отримує результати у веб-браузері. Зручного інтерфейсу у такому випадку використання непередбачено. Якщо людина не має навичок в налаштуванні складних системи цей варіант навряд підходить.

Другим варіантом експлуатації кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є використання мобільного застосунку. У такому випадку користувач має пройти реєстрацію. Вказати необхідні для цього дані та увійти в систему. На екрані він побачить всі результати використання, через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. У випадку малої вологості, натиснувши кнопку можна здійснити подання води у ґрунт [66].

Підсумовуючи потрібно здійснити аналіз переваг та недоліків обох варіантів використання. Аналіз варіантів використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу наведено в таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз варіантів використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Варіант використання	Переваги	Недоліки
Програмне забезпечення	Швидке отримання результатів, немає потреби в реєстрації, можливість використання без мобільного застосунку	Немає інтерфейсу керування, великі габарити (використання тільки в призначених місцях)

Кінець таблиці 2.2 – Аналіз варіантів використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Варіант використання	Переваги	Недоліки
Мобільний застосунок з хмарним сховищем	Малі габарити, можливість подання води натиснувши одну кнопку, зручний інтерфейс	Прив'язка до програмного забезпечення на комп'ютері

У залежності від результатів моніторингу користувач вирішує подальші дії пов'язані з доглядом за рослиною. Наприклад при малому показнику температури збільшити кількість тепла, що потрапляє на рослину. У протилежному випадку огородити рослину від надмірного нагріву. Вологість повітря при низьких показниках потрібно також підвищити [67].

Отже, можна зробити висновок, що у різних варіантів використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є свої переваги та недоліки. Вибір залежить від конкретної ситуації користувача. Наприклад, якщо людина знаходиться недалеко від місця розташування горщика з рослиною, то використання програмного забезпечення буде правильним. Можна здійснити певні специфічні налаштування системи та швидше отримати результат. Потрібно орієнтуватись на залежність від тривалості моніторингу. Якщо користувачу принципово потрібно швидше отримати результат то використання програмного забезпечення є вірним рішенням. Звісно значних змін у часі роботи не має але все ж результат у веб-браузері буде відображатись скоріше. Також якщо людина, що використовує кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу не має бажання проходити процес реєстрації, то програмне забезпечить їй це. У випадку ж віддаленого моніторингу краще використати мобільний застосунок з хмарним сховищем. На ньому отримати результати та при нестачі вологи у субстраті натиснути кнопку подання води. Інтерфейс показує

результат роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу в зручному вигляді.

#### 2.4 Модель розрахунку вологості повітря у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Для розробки моделі розрахунку вологості повітря потрібно розуміти з чого вона складається. А саме з розрахункової частини (математичних формул, факторів навколишнього середовища) та фізичних пристроїв, що забезпечують виміри показників [68].

Спочатку потрібно визначити основні складові моделі розрахунку вологості повітря у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Розрахункова частина складається з наступних параметрів:

- об'єм приміщення ( $m^3$ );
- фактичні температура та вологість повітря в приміщенні;
- необхідні температура та вологість повітря у приміщенні.

Розберемо кожен параметр детальніше для розуміння всіх аспектів виміру вологості повітря щоб уникнути помилок у результатах. Розпочати потрібно з об'єму приміщення. Об'єм приміщення це міра простору, яку займає внутрішній простір будівлі, кімнати чи іншого приміщення. Іншими словами, це кількість простору в трьох вимірах: висоті, ширині та довжині. Кубічні метри ( $m^3$ ) — це одиниця вимірювання об'єму. Кубічні фути або кубічні дюйми також можна включити до списку. Для вимірювання необхідно враховувати ці параметри. Формула 2.1 для виміру об'єму приміщення виглядає наступним чином:

$$V = l \times w \times h, \quad (2.1)$$

де  $V$  – об'єм приміщення;

$l$  – довжина приміщення;

$w$  – ширина приміщення;

$h$  – висота приміщення.

Отже як видно з формули 2.1 для визначення об'єму приміщення, в якому проходить моніторинг рослини, потрібно розрахувати довжину, ширину, висоту.

Відносна вологість повітря в приміщенні є фактичною вологістю повітря. Співвідношення абсолютної вологості повітря (при певній температурі) до густоти насиченої водяної пари при тій же температурі називається відносною вологістю повітря. Конденсація починається, коли повітря досягає точки насичення, тобто містить стільки водяної пари, скільки воно може вмістити [69]. Це призводить до утворення роси, або вологи, на поверхнях. Формула 2.2 розрахунку відносної вологості повітря:

$$RH = \left( \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) \times 100\%, \quad (2.2)$$

де  $RH$  – відносна вологість, результат у відсотках;

$\rho_w$  – вміст вологи (абсолютна вологість) повітря;

$\rho_s$  – густина насиченої водяної пари.

Температура повітря визначає ступінь насичення водяної пари в повітрі. Гаряче повітря може утримувати більшу кількість водяної пари до насичення, ніж холодне повітря. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу надає дані про відносну вологість у відсотках. У ситуаціях, коли відносна вологість становить сто відсотків, повітря повністю насичене, що призводить до конденсації. Але коли відносна вологість рівна 0%, повітря повністю сухе, що означає, що там немає водяної пари [70]. Для того, щоб розрахувати відносну вологість, потрібно знати абсолютну вологість. Це маса водяної пари в об'ємі повітря. Розрахунок абсолютної вологості здійснюється формулою 2.3:

$$\rho_w = \frac{m}{V}, \quad (2.3)$$

де  $\rho_w$  – абсолютна вологість, визначається в г/м<sup>3</sup>;

$m$  – маса водяної пари;

$V$  – об'єм суміші повітря і водяної пари.

Фізичний пристрій (давач) зчитує значення з навколишнього середовища та рахує їх за наведеною формулою 2.3.

Головна ціль роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу покращення здоров'я рослини. Після виміру фактичної вологості повітря у приміщенні, де здійснюється моніторинг, потрібно встановити, яка ж кількість вологи потрібна, щоб у достатній кількості зволожити повітря. Розрахунок необхідної кількості вологи залежить від приміщення в якому відбувається робота. Для цього розділяється приміщення на два типи: з примусовою системою вентиляції, без системи вентиляції [71].

Розберемо спочатку приміщення з примусовою системою вентиляції. У таких будівлях штучний або примусовий обмін повітря забезпечує постачання свіжого повітря та виведення повітря, що довгий час знаходилося у приміщенні. Ці системи надають постійне очищення повітря в приміщенні та постачають свіже. Загалом вони використовуються в будівлях з обмеженим доступом до природного повітря, таких як підземні приміщення, криті паркінги, виробничі цехи, лабораторії та інші, де постійна циркуляція повітря необхідна для безпеки та комфорту людей. Для виміру кількості вологи, необхідної для зволоження повітря у приміщенні з примусовою системою вентиляції використовується формула 2.4:

$$Q = \left( \frac{V \times 1.2 \times (x_2 - x_1)}{1000} \right) + Y, \quad (2.4)$$

де  $Q$  – кількість вологи, необхідної для зволоження повітря у приміщенні (кг/год);

$x_1$  – вміст вологи (абсолютна вологість) повітря, що надходить за найгірших умов: як правило, це зимовий період (г/кг);

$x_2$  – вміст вологи (абсолютна вологість) зволоженого повітря (г/кг);

$V$  – витрати повітря, що надходить ( $\text{м}^3$ );

1.2 – питома вага повітря (кг/м<sup>3</sup>) (при температурі 21 °С та атмосферному тиску 1013 мбар);

$Y$  – величина, що враховує інші фактори.

При розрахунку необхідно враховувати всі вищенаведені значення інакше результат буде не вірним. Формула 2.4 забезпечує надання найточніших даних.

У приміщенні без вентиляції немає вищеописаного функціоналу обміну повітря із зовнішнього середовища. Такі приміщення можуть мати або обмежений доступ до свіжого повітря ззовні, або взагалі його не мати. Розраховується необхідна вологість повітря у приміщенні без системи вентиляції за наступною формулою 2.5:

$$Q = \left( \frac{V \times N \times 1.2 \times (x_2 - x_1)}{1000} \right) + Y, \quad (2.5)$$

де  $Q$  – кількість вологи, необхідної для зволоження повітря у приміщенні (кг/год);

$x_1$  – вміст вологи (абсолютна вологість) повітря, що надходить за найгірших умов: як правило, це зимовий період (г/кг);

$x_2$  – вміст вологи (абсолютна вологість) зволоженого повітря (г/кг);

$V$  – об'єм приміщення (м<sup>3</sup>);

1.2 – питома вага повітря (кг/м<sup>3</sup>) (при температурі 21 °С та атмосферному тиску 1013 мбар).

$N$  – кратність обміну повітря (0,5 + 2,0);

$Y$  – величина, що враховує інші фактори.

2.5 Модель розрахунку вологості ґрунту у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Визначення вологості ґрунту не є простою процедурою. Це вимагає розуміння властивостей субстрату, таких як густина та діелектрична проникність. Крім того, коли додається вода, завдання стає ще більш складним [72]. Густина

речовини показує її концентрацію. Густина впливає на властивості та поведінку речовин у різних умовах, тому це важлива характеристика для речовин, які беруть участь у цьому дослідженні. Діелектрична проникність показує, наскільки разів взаємодія між зарядами в однорідному середовищі менша, ніж у вакуумі. Отже, важливо враховувати різноманітність ґрунту. Сухий і вологий типи ґрунту розрізняються вологість субстрату. Розрахувати вологості ґрунту можна трьома різними способами. Перший за допомогою такої характеристики речовини як маса, другий об'єм, третій діелектрична проникність.

Розпочнемо з першого способу. Принцип його роботи полягає у тому, що спочатку рахується маса сухого ґрунту. Потім субстрат піддається дії спеціальних умов направлених на зволоження, заливається водою. Після цього вимірюється маса вологого ґрунту. Отже вологість субстрату, враховуючи масу – це співвідношення маси води на масу сухого ґрунту. Дізнатись масу води можна віднявши від маси вологого субстрату масу сухого. Формула 2.6 знаходження вологості ґрунту наступна:

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_d} \times 100\% = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100\%, \quad (2.6)$$

де  $\theta_g$  – вологість ґрунту, враховуючи масу (у відсотках %);

$m_w$  – маса води (г);

$m_d$  – маса сухого ґрунту (г);

$m_s$  – маса вологого ґрунту (г).

Спосіб знаходження вологості ґрунту за формулою 2.6 є ефективним так як надає чіткі результати.

Наступний спосіб передбачає врахування характеристики об'єму. Формула 2.7 розрахунку вологості ґрунту таким способом наведена далі:

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s} \times 100\%, \quad (2.7)$$

де  $\theta_v$  – вологість ґрунту, враховуючи об'єм (у відсотках %);

$V_w$  – об'єм води (м<sup>3</sup>);

$V_s$  – об'єм вологого ґрунту (м<sup>3</sup>).

За попередньою формулою вологість ґрунту знаходиться за співвідношенням об'єму води до об'єму вологого ґрунту. Як було вказано раніше густина речовин відіграє важливу роль при обчисленні вологи субстрату. Тому формулу знаходження  $\theta_v$  можна пов'язати з гравіметричним вмістом густини у воді та ґрунті. Формула 2.8 виглядає наступним чином:

$$\theta_v = \left( \frac{m_w}{m_d} \right) \times 100\% = \theta_g \frac{\rho_{d,s}}{\rho_w} \times 100\%, \quad (2.8)$$

де  $\theta_v$  – вологість ґрунту, враховуючи об'єм та густину (у відсотках %);

$m_w$  – маса води (г);

$m_d$  – маса сухого ґрунту (г);

$\rho_w$  – густина води (г/м<sup>3</sup>);

$\rho_d$  – густина сухого ґрунту (г/ м<sup>3</sup>);

$\rho_{d,s}$  – визначається як маса сухого ґрунту поділена на об'єм вологого ґрунту (г/ м<sup>3</sup>).

Третій спосіб використовує діелектричну проникність. Під час проведення розрахунків діелектричної проникності вологість ґрунту, виміряна за допомогою об'єму, використовується для поділу розрахунку на два типи: діелектрична проникність вологого ґрунту та діелектрична проникність води. Діелектричний розподіл обчислюється наступною формулою 2.9:

$$\epsilon = (1 - \theta_v)\epsilon_s + \theta_v\epsilon_w, \quad (2.9)$$

де  $\epsilon$  – розподіл діелектричної проникності;

$\theta_v$  – вологість ґрунту визначена за допомогою ;

$m_d$  – маса сухого ґрунту (г);

$\rho_w$  – густина води ( $\text{г/м}^3$ );

$\rho_d$  – густина сухого ґрунту ( $\text{г/ м}^3$ );

$\rho_{d,s}$  – визначається як маса сухого ґрунту поділена на об'єм вологого ґрунту ( $\text{г/ м}^3$ ).

Отже з вищезазначених формул можна зробити висновок, що кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу універсальна і використовує різні способи розрахунку вологості ґрунту. Спосіб залежить від конкретної ситуації та умов проведення моніторингу [73].

## 2.6 Модель розрахунку температури повітря у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Існує велика кількість методів виміру температури повітря. У кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу використовується метод термістора.

Цей метод працює таким чином, що опір термістора змінюється залежно від температури. Термістор вимірює опір повітря, а зміна цього сигналу є аналоговим сигналом, який потім перетворюється на цифрове значення за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Давач видає цифрове значення температури за допомогою цифрового інтерфейсу (програмного забезпечення) [74]. Це значення температури може зчитувати модуль Wi-Fi. Він показує від'ємний коефіцієнт температури. Опір NTC термістору зменшується з температурою. Діаграма залежності температури від опору термістора зображена на рисунку 3.7.

Для вимірювання опору термістора NTC використовується струм, який має досить невелику величину самонагрівання (утворення тепла за допомогою струму). Як орієнтир використовується максимальний робочий струм. Крім того, опір термісторів завжди представляється в парі зі значенням температури. Формула 2.10 залежності температури повітря від опору наступна:

$$R_t = R_0 \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right), \quad (2.10)$$

де  $R_t$  – опір термістора (Ом);

$T$  – температура (°C);

$B$  – постійний коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора;

$R_0$  – опір термістора при температурі  $T_0$  (Ом);

$T_0$  – температура при опорі термістора  $R_0$  (°C).

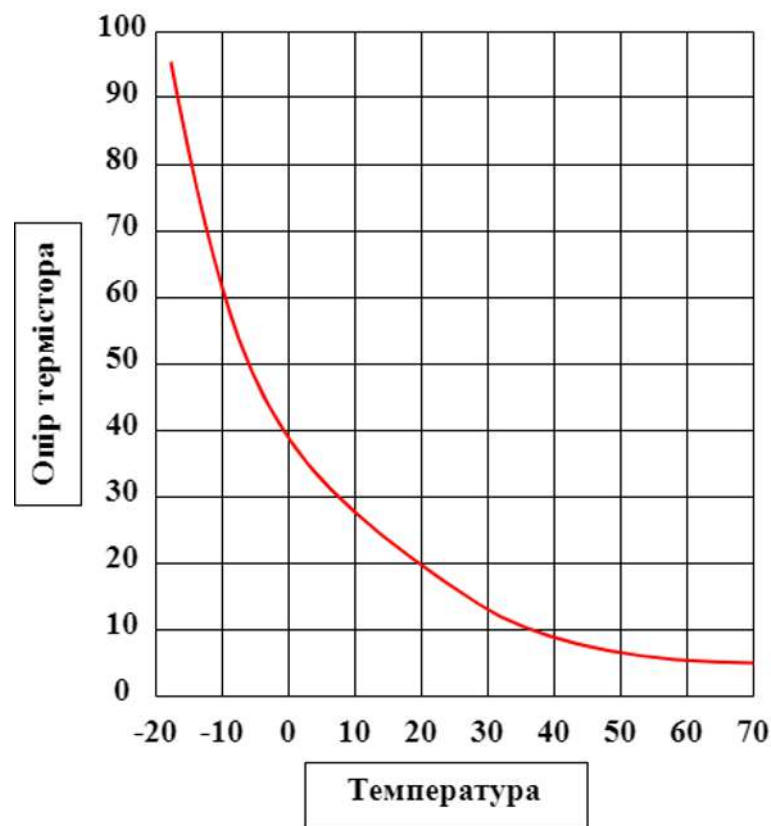


Рисунок 3.7 – Діаграма залежності температури від опорі термістора

З описаної формули 2.10 можна визначити температуру повітря. Формула 2.11 температури повітря наступна:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \times \ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right), \quad (2.11)$$

де  $T$  – температура повітря (°C);

$R_t$  – опір термістора (Ом);

$B$  – постійний коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора;

$R_0$  – опір термістора при температурі  $T_0$  (Ом);

$T_0$  – температура при опорі термістора  $R_0$  (°C).

Наступною величиною, що потрібно розглянути є температурний коефіцієнт. Він показує на відносну зміну величини опору термістора NTC при зміні температури в 1°C [75]. Розраховується температурний коефіцієнт за такою формулою 2.12:

$$\alpha = \frac{\frac{dR_t}{dT}}{R_t} = -\frac{B}{T^2}, \quad (2.12)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт;

$R_t$  – опір термістора (Ом);

$B$  – постійний коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора;

$T$  – температура (°C).

Загалом метод вимірювання температури повітря термістором є точним. Крім того, кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу миттєво відповідає на швидкі зміни температури. Це дозволяє вимірювати даний показник повітря в реальному часі та отримувати поточні дані про зміни температури в досліджуваному середовищі. Великою перевагою цього методу являється широкий діапазон температурних показників, що робить метод з використанням термістора універсальним для експлуатації в різних умовах.

## 2.7 Розгляд характеристик життєдіяльності рослин для правильного моніторингу

Ситуації роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу можуть бути різними. Тому потрібно враховувати різні випадки та передбачати можливі труднощі.

Коли йде огляд на субстрат, стає зрозуміло, що існує велика різноманітність рослин. Кожен тип потребує певного типу субстрату. Тип ґрунту, який використовується, може спричинити значні відхилення в результатах моніторингу вологості. Це пов'язано з тим, як властивості густини впливають на вимірювання маси речовини. Густина ґрунту коливається між 0,05 і 2,0 г/см<sup>3</sup>. Це призводить до помилок в 5% у вимірюванні. Таким чином, кожного разу, коли давач вологості переміщується на новий ґрунт, дуже важливо точно визначити густину. Гумус є ще одним важливим компонентом ґрунту. Він відповідає за вологоємність субстрату. Тож, чим більше цієї речовини міститься в ґрунті, тим більше вологи він може зберігати. Зрозуміло, що, щоб уникнути надмірного поливу рослини, необхідно спостерігати за вмістом цієї речовини в ґрунті. І як наслідок потребує меншого поливу. Частина гелів субстрату дуже активно пов'язує воду, яка надходить у верхній шар субстрату, надаючи її рослині поступово [76]. Таким чином, щоб уникнути помилок у догляді за рослинами, необхідно знати, скільки гумусу міститься в певних видах ґрунту. Кіберфізична система моніторингу рослин в режимі реального часу запобігає поганим умовам для рослин, тому перебільшення зволоження це одна з причин чому рослина може захворіти. Також потрібно розуміти, який субстрат підходить певним видам рослин, адже у неправильному субстраті рослина не буде рости. Далі буде наведена таблиця 2.3 з різними ґрунтами, та їх основними характеристиками, що важливі для моніторингу.

Таблиця 2.3 – Види ґрунтів та їх характеристики

Назва типу ґрунту	Вміст гумусу	Рослини в, які саджають
Піщаний	0,2 – 0,5%	Лаванда, рудбекія, седум, кактус
Глинистий	0,8 – 1,5%	Півонія, барвінок, лілія, георгіна, рудбекія
Кам'янистий	2,5 – 6 %	Ірис, алое, розмарин
Торф'яно-болотний	5 – 6%	Камелія, мох, троянда

Кінець таблиці 2.3 – Види ґрунтів та їх характеристики

Назва типу ґрунту	Вміст гумусу	Рослини в, які саджають
Чорнозем	4 – 6 %	Соняшник, бобові культури, льон, картопля
Суглинні	4 – 6 %	Трави, овочі, декоративні рослини

Отже з таблиці 2.3 розберемо кожен ґрунт детально. Першим йде піщаний субстрат у ньому переважає високий вміст піску та невелика частина глинистих мінералів. Висновком буде низький рівень гумусу, порівняно з іншими типами ґрунту. Землі такого типу потрібно удобрювати частіше. Наступним у списку є глинистий ґрунт. Хоча цей тип субстрату містить більше гумусу, ніж піщаний, він все одно погано пропускає воду і не дозволяє утворювати капілярну систему. Рослина не отримуватиме достатньо води в такому ґрунті. Воді важко потрапити в нижні частини глинистих ґрунтів, тому вона накопичується на верхньому шарі землі. У невеликій кількості коріння отримає воголість, що призведе до гниття рослини. Третім у списку є кам'янистий субстрат. Незважаючи на те, що він добре зберігає тепло, у його недрах немає життя. Мікроорганізми можуть загинути дуже швидко. Це означає, що вода не залишається в структурі землі надовго [77]. Торф'яно-болотний ґрунт дуже водопроникний. Надмірна кількість води шкодить рослині, що є значним недоліком цього. Чорнозем добре утримує воду. У порівнянні з іншими видами ґрунту він водостійкий і доступний для рослин, які потребують високого рівня вологості. Суглинні ґрунти мають характеристики піщаних, але більш збалансовані. Вони утримують високий вміст води, а також багато мінералів і поживних речовин, необхідних для рослин. Крім того, вони швидко прогріваються.

Життя рослини не обмежується субстратом у, якому вона знаходиться наступною роглянутою складовою буде повітря. Вміст певних речовин у повітрі полегшує спостереження та забезпечує хороше середовище для росту. CO<sup>2</sup> є

речовиною, яка впливає на вологість повітря, через свої властивості. Ця речовина діє на фізичні та хімічні властивості повітря.  $\text{CO}_2$  — це газ, який має здатність поглинати тепло та віддавати його в атмосферу. Температура повітря може зростати, коли вміст  $\text{CO}_2$  у повітрі зростає. Збільшення температури повітря збільшує вологість навколишнього середовища. Збільшення концентрації водяної пари в атмосфері є результатом змін в процесах конденсації та випаровування. У результаті зменшення випаровування води температура повітря та вологість повітря знизяться. Вплив на конденсацію водяної пари сприяє розподілу вологості повітря через вміст  $\text{CO}_2$ . [78] Висновком цього усього є те, що рівень  $\text{CO}_2$  в повітрі напряму впливає на вимірювання вологості. Температура у цьому процесі відіграє ключову роль. Ще однією речовиною, що міститься в повітрі є  $\text{SO}_2$ . Ця речовина сприяє абсорбації водяної пари завдяки хімічним реакціям. Результатом є зменшення водяної пари на територіях де є висока концентрація цієї речовини [79].

Отже при моніторингу навколишній факторів розвитку рослини потрібно враховувати характеристики, що впливають на її розвиток. Адже від цього залежить робота кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

## 2.8 Висновки

У цьому розділі було проведено огляд особливостей поняття кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Вона представляє собою інноваційні технологічні рішення, які відкривають нові можливості для сільськогосподарського сектора. Запропоноване рішення поставленого завдання поєднує в собі компоненти фізичних датчиків, бездротового зв'язку, хмарних обчислень та штучного інтелекту.

Не менш важливим є огляд методів моніторингу стану рослини, а саме вологості ґрунту, вологості повітря та температури повітря. Були визначені формули для розрахунку цих параметрів, а також розгляд їх у різних ситуаціях.

Було проведено виявлення різноманітних ситуацій в, яких може опинитись кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Проведений огляд здійснювався задля забезпечення ефективності та тривалості служби роботи. Коли користувач починає піддавати експлуатації кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу необхідно дотримуватися певних правил та рекомендацій, щоб забезпечити правильну роботу.

І останнім питанням, що було розглянуто у цьому розділі є характеристики життєдіяльності рослин для правильного моніторингу. Було здійснено огляд на середні показники, що є допустимим для ґрунту, вологості повітря та температури повітря.

### 3 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

#### 3.1 Обґрунтування вибору апаратних складових та програмного забезпечення

Проєктування апаратної частини розпочинається з вибору її компонентів. Далі буде наведена таблиця 3.1 з складовими кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу де показано назву кожного компоненту та його призначення.

Таблиця 3.1 – Компоненти апаратної частини кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Назва	Призначення
Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266	Надсилання та отримання даних
Ємнісний давач вологості ґрунту	Визначення вологості ґрунту
Сенсорний модуль DHT11	Визначення температури та вологості
Драйвер двигунів L293D	Керування наданням води
Водяний насос 5В	Надання води
Шланг довжиною 1 метр та діаметром 1 сантиметр	Переливання води
Батареї на 9В	Джерело електричної енергії
Контактні піни	З'єднання між платами
Діоди 1N4007	Перетворення змінного струму в постійний
Загальна друкована плата	Підтримка та з'єднання всіх компонентів
Провід	Проведення електричного струму

Вибір вище описаних компонентів має свої причини. Кожен прилад вміщує у собі певні властивості, необхідні при розробці, які будуть описані далі.

### 3.1.1 Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266

ESP8266 NodeMCU являється невід'ємним компонентом при розробці кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Використання цього пристрою забезпечує можливість збору та аналізу даних про умови росту рослин у реальному часі. Нижче розглянуті ключові аспекти використання ESP8266 NodeMCU в цьому контексті.

ESP8266 NodeMCU може підключатися до Інтернету без використання проводів, що дозволяє надсилати дані з датчиків, які вимірюють умови навколишнього середовища, на сервер або зберігати їх у хмарних ресурсах. Це важливо, оскільки дозволяє спостерігати за станом рослин у будь-якому місці з доступом до Інтернету.

Модуль Wi-Fi має багато цифрових і аналогових виводів, що дозволяє підключати до нього різні сенсори, які можуть вимірювати різні параметри, такі як вологість ґрунту, температура, освітлення та інші. Це дозволяє отримати широкий спектр даних про умови росту рослин. Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266 зображено на рисунку 3.1.

Крім того, він підтримує багато програмних середовищ і мов програмування, включаючи Arduino IDE, MicroPython і Lua. Ці показники роблять NodeMCU досить гнучким для розробки. Велика кількість алгоритмів аналізу даних або керування системою поливу рослин, може бути застосована у цьому Wi-Fi модулі.

Зібрані, кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу, дані передаються на сервер завдяки обраному Wi-Fi модулю NodeMCU. Обробка даних навколишнього середовища відбувається у цьому пристрої. Це підвищує надійність та швидкодію обробки даних, а також спрощує архітектуру системи.

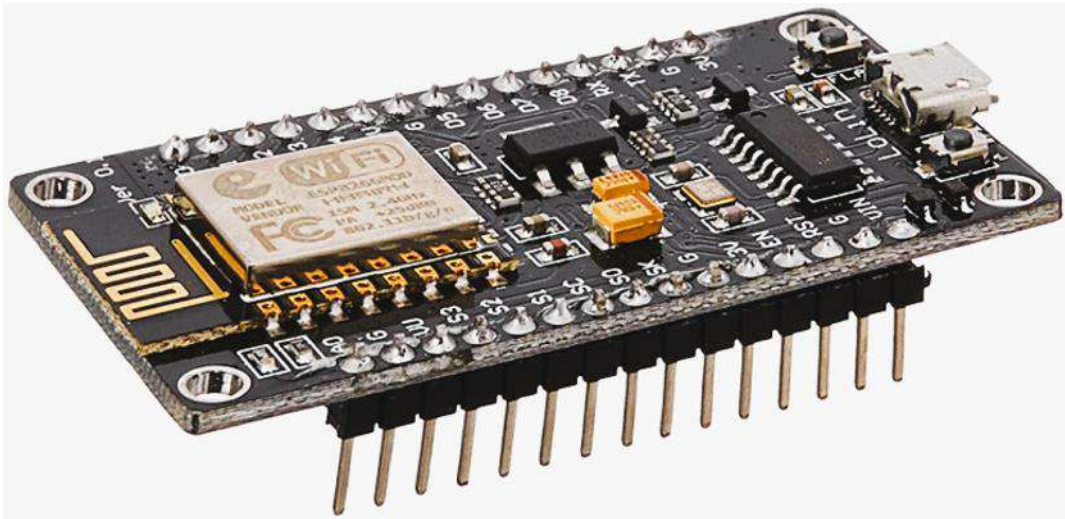


Рисунок 3.1 – Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266

Загалом, ESP8266 NodeMCU є ідеальним вибором для розробки кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, тому що він підтримує бездротовий зв'язок, має багато виводів для підключення сенсорів і може працювати як сервер. Це дозволяє створювати потужні та адаптивні системи, які можуть підвищити продуктивність рослин і оптимізувати умови для їхнього росту.

### 3.1.2 Ємнісний давач вологості ґрунту

Ємнісний давач вологості ґрунту є ефективним інструментом для вимірювання вологості ґрунту. Він надає можливість вчасно реагувати на зміни вологості, забезпечуючи найкращі умови для росту рослин. Є два типи давачів вологості: ємнісний давач вологості ґрунту та резистивний давач вологості. Як видно з назви, ємнісний давач вологості ґрунту працює за допомогою змін ємності. Ємнісні давачі можуть значно зменшити корозію електродів, оскільки вони не впливають на металеві електроди прямо, як резистивні давачі.

Під час розробки кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, використання ємнісного давача вологості ґрунту має низку переваг. По-перше, він дозволяє безпосередньо оцінити вміст вологи в ґрунті, що є

важливим компонентом у виборі найкращого часу задля поливу рослин. Зменшення або збільшення рівня вологості можуть вказувати на те, що рослини потребують більшої кількості води або навпаки перебувають у стані перезволоження.

Крім того, ємнісні давачі вологості ґрунту зазвичай мають простий дизайн і легко інтегруються з іншими електронними компонентами, такими як сенсори, мікроконтролери та інші пристрої, які використовуються для збору, а в подальшому обробки отриманих результатів. Описані характеристики надали можливість створити кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу та використовувати її навіть у важкодоступних і віддалених місцях.

Дані ємнісного давача вологості ґрунту можна передавати на сервер або зберігати в хмарних сервісах, що дозволяє отримувати до них доступ з будь-якої точки в Інтернеті. Це дозволяє відстежувати рівень вологи в ґрунті та вчасно реагувати на будь-які зміни, що є важливим для росту та здоров'я рослин. Ємнісний давач вологості ґрунту зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Ємнісний давач вологості ґрунту

Крім того, його низька вартість і доступність є важливою перевагою цього елемента кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Описані фактори роблять його привабливим вибором для використання у

великих масштабах, таких як сільське господарство та агропромисловість, а також для використання в домашньому саді чи на городі.

Ємнісний давач вологи ґрунту використовується для вимірювання змін ємності, спричинених змінами в діелектрику. Як відомо, діелектричне середовище пропорційне ємності. Щоб визначити ємність давача, використовується схема на основі NE555, яка створює напругу, пропорційну ємності. Для давача є три контакти: VCC, GND і OUT. Вихід ємнісного давача вологи схожий. Також використання ємнісного давача вологи забезпечує перевірку рівня води у горщику.

Враховуючи всі переваги ємнісного давача вологості ґрунту він дозволяє ефективно контролювати рівень вологості в ґрунті та забезпечувати оптимальні умови для росту і розвитку рослин.

### 3.1.3 Сенсорний модуль DHT11

Цей модуль може вимірювати температуру та вологість повітря в навколишньому середовищі, що дозволяє швидко визначити зміни в кліматі та реагувати на них, щоб створити найкращі умови для росту рослин.

DHT11 часто використовується як давач температури та вологості. Надається спеціальний термістр NTC для вимірювання температури. Послідовні дані температури та вологості демонструють вихід DHT. Давач має високу точність порівняно з іншими, і він легко взаємодіє з мікроконтролерами за допомогою бібліотеки DHT. Давач може вимірювати температуру від 0 до 50 °C і вологість від 20 до 90 %; він має точність  $\pm 1$  °C і  $\pm 1$  %.

Цей модуль є досить недорогим і легко доступним, що робить його привабливим вибором для використання у великих масштабах, таких як сільське господарство та садівництво. Він також має простий у використанні інтерфейс, що дозволяє швидко і легко інтегрувати його з іншими електронними компонентами. Сенсорний модуль DHT11 зображено на рисунку 3.3.

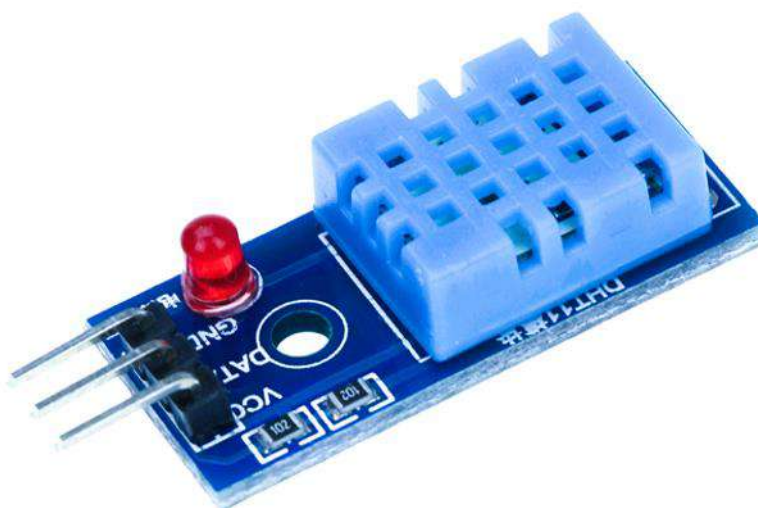


Рисунок 3.3 – Сенсорний модуль DHT11

Сенсорний модуль DHT11 також може вимірювати температуру та вологість повітря, які є важливими для здоров'я та росту рослин. У зв'язку з тим, що ідеальні умови для рослин включають певний діапазон температур і вологості, важливо мати інструменти для вимірювання та контролю цих параметрів.

DHT11 має високу точність вимірювань та постійну стабільність роботи. Цей модуль забезпечує надійні і точні вимірювання, що дозволяє отримувати достовірну інформацію про кліматичні умови для використання її у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Сенсорний модуль DHT11 використовується в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу для вимірювання температури та вологості повітря в теплицях, тепличних умовах та інших місцях, де вирощуються рослини. Це дозволяє швидко виявити будь-які зміни у кліматі та вжити заходів для їх корекції, наприклад, контролювати полив або вентиляцію.

Висновком є те, що сенсорний модуль DHT11 є важливою частиною кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, оскільки він дозволяє вимірювати температуру та вологість повітря, які є важливими факторами для здоров'я та росту рослин. Його висока точність, простий інтерфейс і низька вартість роблять його привабливим вибором для використання в багатьох сферах. Таких як садівництво та сільське господарство.

### 3.1.4 Драйвер двигунів L293D

Інтегральна схема драйвера двигунів L293D широко використовується для керування різноманітними типами моторів, такими як DC-мотори та крокові двигуни. Використання драйвера L293D може бути дуже корисним для керування насосом, який постачає воду рослинам, якщо вона цього потребує.

Здатність керувати двома моторами одночасно, а також можливість керувати напрямком обертання кожного мотора незалежно від іншого, є однією з переваг драйвера двигунів L293D. Це робить його ідеальним для поливу рослин, якщо потрібно контролювати насос або інший пристрій, який постачає воду в потрібній кількості та в необхідний час.

Крім того, драйвер L293D має широкий діапазон напруги живлення та є досить простим у використанні, що робить його досить універсальним для різних цілей. Також, він містить вбудовані захисні функції, що робить його безпечним для використання в різних умовах експлуатації. Дані функції включають захист від перенапруги та перегріву.

Драйвер L293D легко інтегрувати з мікроконтролерами, такими як Arduino або Raspberry Pi. Це дозволяє використовувати програмне забезпечення для керування роботою системи поливу рослин. Багато можливостей відкривається для оптимізації та автоматизації роботи систем поливу рослин, забезпечуючи найкращі умови для росту та розвитку. Драйвер двигунів L293D зображено на рисунку 3.4.

Загалом, драйвер двигунів L293D є чудовим варіантом для розробки кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Тому що він керує моторами та іншими пристроями для постачання води до рослин ефективно. Він ідеальний для поливу рослин, оскільки являється простим у використанні, має широкий діапазон напруги живлення та має вбудовані захисні функції.

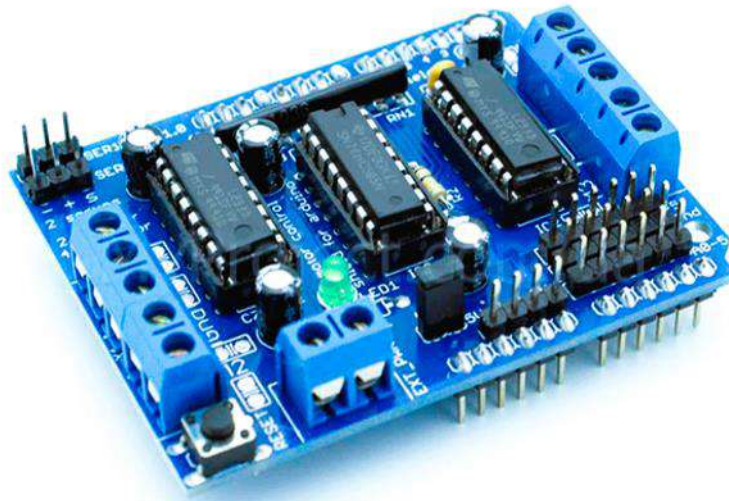


Рисунок 3.4 – Драйвер двигунів L293D

### 3.1.5 Водяний насос 5В

Водяний насос 5В є важливим компонентом в системах поливу рослин, оскільки він забезпечує постачання води до рослин у відповідний час і в потрібній кількості.

Водяні насоси 5В забезпечують надійне постачання води без шуму чи вібрації, і вони є ефективними пристроями. Це дозволяє їм працювати довго, надаючи рослинам достатню кількість води для росту та здоров'я.

Водяний насос є хорошим варіантом для постачання води, оскільки він не потребує багато енергії. Він працює від невеликої напруги 5В, що дозволяє економно використовувати електроенергію та забезпечувати ефективний полив рослин, не витрачаючи при цьому багато ресурсів. У таблиці 3.2 наведено основні характеристики водяного насосу з напругою 5В.

Крім того, цей компонент ідеально підходить для поливу рослин через свій невеликий розмір і легку вагу. Водяний насос легко встановити в багатьох місцях, таких як теплиці, городи та сади, щоб гарантувати, що рослини отримують достатню кількість води, навіть у важкодоступних місцях.

Однією з великих переваг використання водяного насосу 5В у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин у режимі реального часу є його здатність контролювати потік води. Багато водяних насосів можуть керувати потоком води за допомогою вбудованих клапанів або регуляторів тиску, але розглянутий виконує цю функцію найкраще. Постійне регулювання постачанням води рослинам відповідно до їхніх потреб і вимог забезпечено.

Таблиця 3.2 – Характеристики водяного насосу 5В

Назва характеристики	Значення
Напруга живлення	2,5 — 6 В
Потужність	0,4 — 1,5 Вт
Швидкість перекачування рідини	До 2 – 3 л/хв або 120 л/год
Матеріал корпусу	Пластик загерметизований
Максимальна висота	0,4 – 1,1 м

Крім того, цей компонент ідеально підходить для поливу рослин через свій невеликий розмір і легку вагу. Водяний насос легко встановити в багатьох місцях, таких як теплиці, городи та сади, щоб гарантувати, що рослини отримують достатню кількість води, навіть у важкодоступних місцях.

Однією з великих переваг використання водяного насосу 5В у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин у режимі реального часу є його здатність контролювати потік води. Багато водяних насосів можуть керувати потоком води за допомогою вбудованих клапанів або регуляторів тиску, але розглянутий виконує цю функцію найкраще. Постійне регулювання постачанням води рослинам відповідно до їхніх потреб і вимог забезпечено.

Також можна легко інтегрувати водяні насоси 5В з мікроконтролерами, такими як Arduino або Raspberry Pi. Це дозволяє за допомогою програмного

забезпечення автоматизувати процес поливу рослин. Розробники можуть спроваджувати різні системи автоматичного поливу, які можуть відповідати різним умовам і потребам рослин. На рисунку 3.5 зображено водяний насос 5В.



Рисунок 3.5 – Водяний насос 5В

Загалом, водяний насос 5В забезпечує надійне, ефективне та економічне постачання води до рослин у відповідності з їх потребами. Містить багато переваг, включаючи низьке споживання енергії, компактний розмір і здатність контролювати потоки води.

### 3.1.6 Батареї на 9В

Кіберфізична система моніторингу стану рослин у реальному часі, що постійно спостерігає за різними параметрами рослинного середовища, такими як вологість ґрунту, температура та вологість повітря повинна бути підживлена батареями 9В.

Батарея, перш за все, необхідна для забезпечення великої кількості енергії для живлення електронних пристроїв протягом тривалого часу, що робить її ідеальною для застосування в системах, які потребують постійного джерела живлення. Батарея 9В має високу енергетичну щільність це надає їй можливість забезпечити достатньою енергією кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу протягом тривалого часу без частої заміни.

Перевага використання батарей 9В полягає у тому, що вона має високу напругу, що дозволяє жити вимірювальні пристрої та сенсори, які часто потребують значної напруги для своєї нормальної роботи. Хоча деякі датчики та пристрої для моніторингу стану рослин можуть працювати найкраще, більшість пристроїв можуть працювати з широким діапазоном напруги. Використання батарей 9В забезпечує достатню напругу для живлення цих пристроїв і дозволяє кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу працювати нормально. Батарея 9В зображена на рисунку 3.6



Рисунок 3.6 – Батарея 9В

Батареї з цією напругою легко встановити та використовувати. Вони зазвичай мають стандартні роз'єми, що робить їх простими для підключення до електронних пристроїв. Їхній компактний розмір також робить батареї 9В компактними та ергономічними для використання в корпусах пристроїв і систем.

Тим не менш, існує кілька недоліків використання батарей 9В для живлення кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. По-перше, вони можуть бути досить дорогими порівняно з іншими типами батарей, що може призвести до збільшення загальних витрат на електроенергію для системи. Крім того, вони менш енергоефективні, ніж деякі інші види батарей, що може призвести до того, що система працює довше без заміни батарей.

Зрештою, батареї 9В є чудовим джерелом живлення для кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, оскільки вони забезпечують достатню енергію та напругу для роботи датчиків і сенсорів.

### 3.1.7 Контактні піни

Контактні піни слугують засобом полегшення підключення сенсорів та інших пристроїв до точкової плати. Вони ефективно використовуються в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин у режимі реального часу для збору даних про різні параметри рослинного середовища, такі як вологість ґрунту, температура повітря та рівень освітленості.

Універсальність і простота в експлуатації ось, що є основними перевагами використання контактних пінів для відстеження стану рослин у режимі реального часу. Контактні піни легко підключати до сенсорів та пристроїв з різними типами виходів, оскільки вони мають стандартні роз'єми або з'єднувачі. Оскільки контактні піни сумісні з багатьма типами сенсорів і пристроїв, вони ідеально підходять для кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Крім того, контактні піни забезпечують надійний зв'язок між сенсорами та обраним Wi-Fi модулем, що гарантує постійний і надійний збір інформації про стан

середовища в якому знаходиться рослина. Вони будуть довговічними та стійкими до корозії, так як виготовлені з міцних матеріалів, таких як мідь або позолочена сталь. Контактні піни легко підключати та відключати від точкової плати, замінюючи та розширюючи сенсори і пристрої в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин у режимі реального часу. Це дозволяє швидко адаптувати систему до змін, пов'язаних із потребами та умовами вирощування рослин, що гарантує найкращі результати. Контактні піни зображено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Контактні піни

Контактні піни дозволяють легко приєднувати та від'єднувати пристрої, що підключені до контактної плати без крайньої необхідності перегляду всієї системи, оскільки різні датчики та пристрої розташовані в різних місцях. Це полегшує обслуговування та налагодження кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Контактні піни можуть мати деякі недоліки, такі як обмежена кількість підключень або те, що вони не працюють з деякими типами сенсорів і пристроїв. Крім того, у деяких ситуаціях може виникнути проблема з підключенням або

невідповідністю роз'єму, що може призвести до недостатньої стабільності з'єднання та втрати даних.

### 3.1.8 Діоди 1N4007

Діоди 1N4007 можна використовувати для вимірювання освітленості, регулювання напруги живлення та захисту від перенапруги.

Вони захищають від перенапруги, що є однією з їхніх основних функцій у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин у режимі реального часу. Великі коливання напруги в електричних мережах є одним із багатьох факторів, які можуть вплинути на рослини. Діоди 1N4007 використовуються для стабілізації напруги живлення системи моніторингу та захисту її від потенційних перенапруг, які можуть виникнути під час бурь або інших аномальних умов.

Діоди 1N4007 також можна використовувати для вимірювання температури повітря. Вони можуть бути підключені до фоточутливих резисторів або сенсорів, які відчують зміну температури. Протягом певного часу використання можна оцінити зміни в температурі та відстежувати їх з часом, вимірюючи напругу або струм, що проходить через діод. Діод 1N4007 зображено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Діод 1N4007

Дану функцію також можна використовувати для регулювання напруги живлення в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Діоди 1N4007 підключені до ланцюга живлення разом з елементами керування, такими як потенціометр або транзистор, щоб змінювати напругу, що подається на різні частини системи. Це може допомогти оптимізувати роботу сенсорів і інших пристроїв.

Можна зробити висновок що, діоди 1N4007 використовуються для захисту від перенапруги, вимірювання температури, регулювання напруги живлення. Вони є надійними і доволі ефективними компонентами, які допомагають забезпечити оптимальні умови для росту та розвитку рослин.

### 3.2 Проектування друкованої плати

Загальна друкована плата (ПЛ) містить кілька електронних компонентів і сенсорів, які дозволяють збирати та аналізувати інформацію про середовище росту рослин. Ці параметри включають температуру, вологість ґрунту, рівень води. Розглянемо детальніше, які елементи та функції можуть бути включені на загальну друковану плату, щоб ефективно відстежувати стан рослин.

Перш за все, загальна друкована плата містить мікроконтролер, який керує та обробляє основні дані кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Мікроконтролер, що працює у даній системі NodeMCU. Він дозволяє підключатися до мережі Інтернет без використання проводів, що надає можливість передавати дані в хмару для подальшого аналізу.

Давачі є другим важливим компонентом. На загальній друкованій платі можуть бути розташовані різні давачі, щоб оцінити параметри середовища рослин. Наприклад, давач температури та вологості повітря, давач вологості ґрунту, який вимірює вологість ґрунту. Ці давачі забезпечують постійний потік даних, необхідних для створення ідеальних умов для росту рослин.

Третім компонентом є модулі комунікації, такі як Wi-Fi або Bluetooth. Ці модулі дозволяють сервісам для обробки та збереження даних кіберфізичної

системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу зв'язуватися з іншими пристроями або хмарними середовищами.

Крім того, на загальній друкованій платі можуть бути розташовані елементи керування живленням, такі як діоди вже зазначені раніше та транзистори. Це дозволяє керувати живленням різних компонентів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу та захищати їх від перенапруг.

Крім того, плати можуть включатись світлодіоди або індикатори стану, які інформують про різні події та умови, які відбуваються в кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Ці умови можуть включати підключення до мережі, отримання даних, стан живлення тощо.

Для кіберфізичної системи моніторингу стану рослин у режимі реального часу загальна друкована плата може бути розширена за допомогою роз'ємів або інтерфейсних з'єднань, щоб підключити додаткові датчики або пристрої, що розширює функціональні можливості системи. Загальна друкована плата зображена на рисунку 3.9.

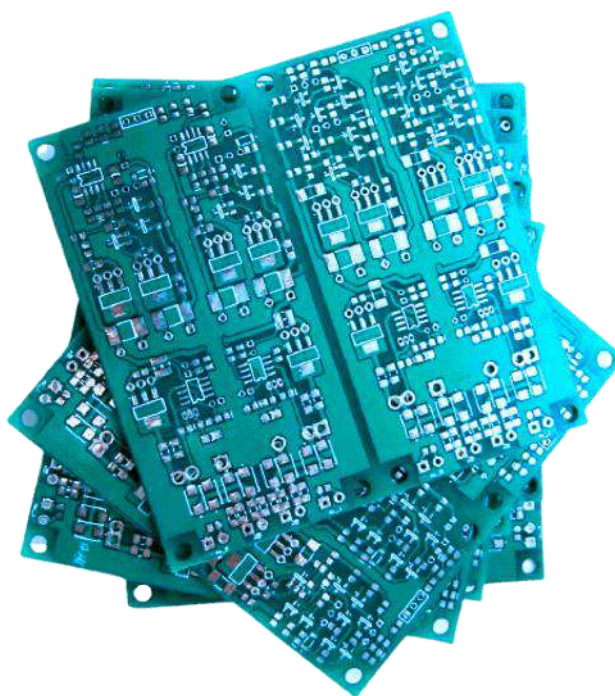


Рисунок 3.9 – Загальна друкована плата

### 3.3 Принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу зображена на рисунку 3.10.

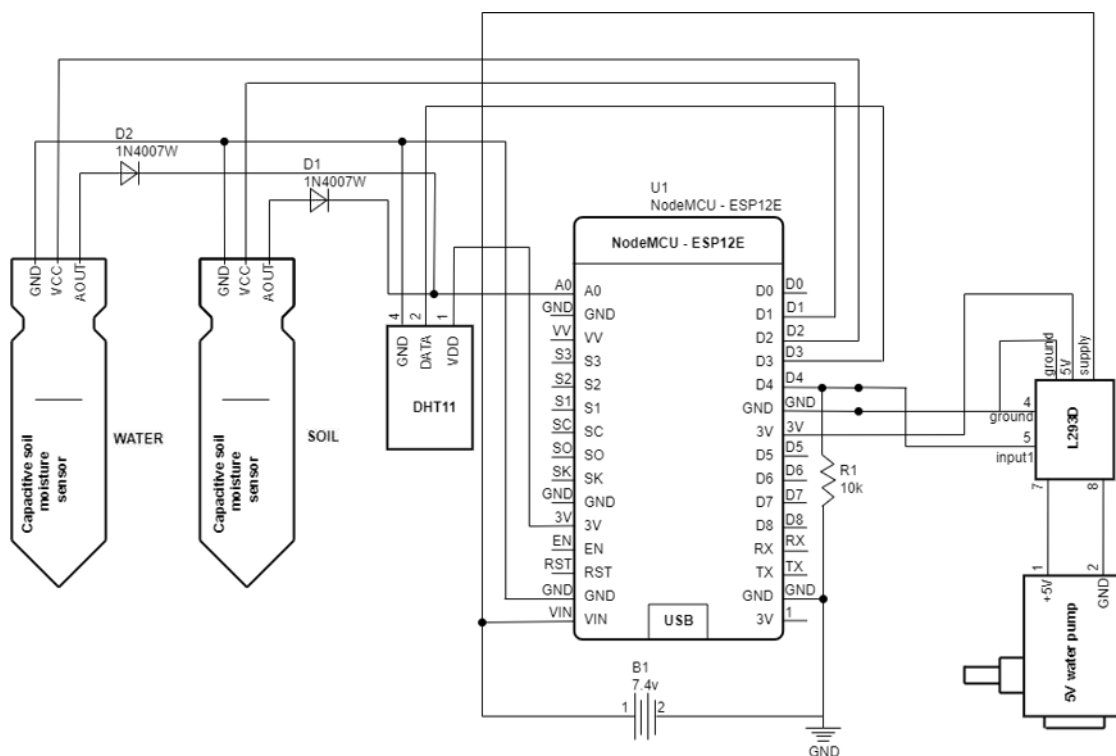


Рисунок 3.10 – Принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

NodeMCU зчитує значення датчиків вологи та модуля DHT, а потім надсилає ці значення на сервер Blynk через Wi-Fi з'єднання. Крім того, він керує насосом відповідно до вологості ґрунту або за допомогою команд програми. Позитивні клеми датчиків вологи під'єднуються до цифрових контактів 1 і 2, тому є можливість вмикати та вимикати кожен датчик. Тобто, якщо D1 ввімкнено, це означає, що датчик 1 ввімкнено. Діоди підключаються до виходів кожного датчика, а інша сторона діода під'єднується до аналогового штифта. Спочатку обертається D1 і одночасно зчитується аналогове значення. Отже, отримується аналогове значення 1 датчика. Далі вимикається D1 і вмикається D2 для отримання аналогового значення 2

давача. Давач DHT11 підключається до цифрового контакту 3, а драйвер двигуна L293D до D4. Резистор 10кОм використовується для витягування штифту двигуна. Модуль драйвера двигуна L293D має три контакти живлення на 5В. Контакт живлення L293D під'єднується до позитивної сторони батареї та до контакту 3,3В NodeMCU.

### 3.4 Висновки

У цьому розділі проводився огляд на апаратні складові кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Дослідження показано, що обрані пристрої є ідеальним рішенням для поставленого завдання. Ємнісний давач вологості ґрунту є ефективним інструментом для вимірювання вологості ґрунту, що дозволяє вчасно реагувати на зміни у рівні вологості, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин. Мозком кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу являється Wi-Fi модуль ESP8266 NodeMCU. Він забезпечує збір та аналіз даних про умови росту рослин у реальному часі. Драйвер L293D керує системою поливу рослин за допомогою програмного забезпечення.

Для розуміння роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу було спроектовано архітектурну схему, що показує всі деталі системи.

## 4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

### 4.1 Встановлення пристроїв керування

Як було зазначено в попередньому розділі NodeMCU є мозком кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Він зчитує значення двох ємнісних датчиків вологи та сенсорного модуля DHT11, а потім надсилає ці значення на сервер Blynk через Wi-Fi. Крім того, він керує насосом L293D відповідно до вологості ґрунту або за допомогою команд програми.

На відміну від інших плат, які керують роботою кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, таких як Arduino, blue pill, Wi-Fi модуль NodeMCU має лише один аналоговий контакт. У кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу передбачено використання двох ємнісних датчиків вологи. Один виконує функцію зчитування вологості ґрунту, а другий рівня води у горщику. Отже, задача зчитування двох аналогових значень за допомогою одного аналогового контакту є основною, так як без цього система не буде працювати.

Розпочати необхідно з встановлення контактних пінів та діодів на точкову плату. До них будуть під'єднуватись два ємнісні датчики вологості, головна плата NodeMCU, датчик DHT11 та контролер двигунів L293D. На зворотній стороні було під'єднано всі виходи на основі принципової схеми.

Щоб кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу працювала правильно було під'єднано позитивні клеми ємнісних датчиків вологи до цифрових контактів 1 і 2. Завдяки цьому є можливість вмикати та вимикати кожен датчик, умикаючи та вимикаючи цифрові контакти. Мається на увазі, якщо контакт D1 в увімкненому режимі, то перший ємнісний датчик включено. Діод було підключено до виходів кожного датчика, а друга сторона діода під'єднана до аналогового штифта. Спочатку спрацьовує D1, а саме перший ємнісний датчик вологості і одночасно зчитується аналогове значення. Як результат

отримується значення від першого ємнісного давача вологості. Потім вимикається D1 і включається D2 і зчитується друге аналогове значення, щоб отримати значення від другого ємнісного давача вологості. Результат під'єднання зображено на рисунку 4.1.

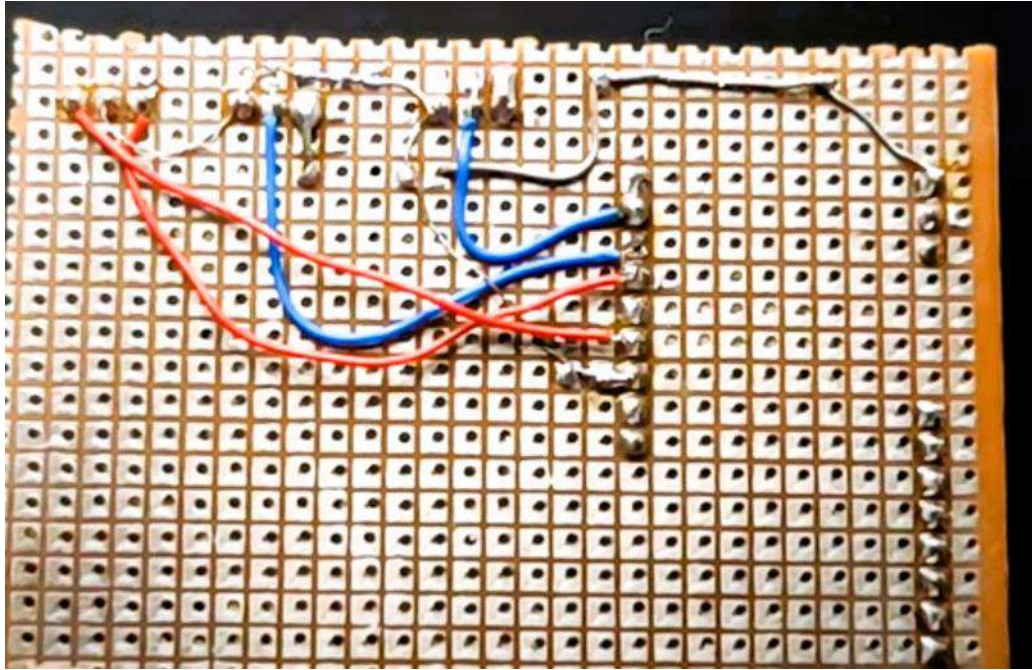


Рисунок 4.1 – Підключення діодів та контактних пінів на маленьку точкову плату

Розглянемо детально підключення всіх виходів. Контактні піни, що встановлені на точкову плату для підключення давача вологості та температури повітря DHT11 під'єднуються до NodeMCU через вихід GND та контакт D3. Наступним йде ємнісний давач вологості їх як вже було вказано є два. Перший приєднується до контакту D1, а другий відповідно D2 Wi-Fi модулю. Драйвер двигуна L293D підключений до D4. Резистор 10 кОм використовується для того, щоб витягнути штифт двигуна. Драйвер двигуна L293D має три контакти живлення на 5В та вихід заземлення. Було під'єднано виходи заземлення до позитивної сторони батареї та 5В до контакту 3,3В NodeMCU. Роз'єм активації потрібно підключати до контакту 3,3В.

Для живлення схеми використовується зовнішня батарея на 9В, а також адаптер змінного струму. Батарея підключена до контактів Vin і заземлення

NodeMCU. Також можна підключити живлення драйвера двигуна до цієї батареї. Результат вищеписаних підключень зображено на рисунку 4.2

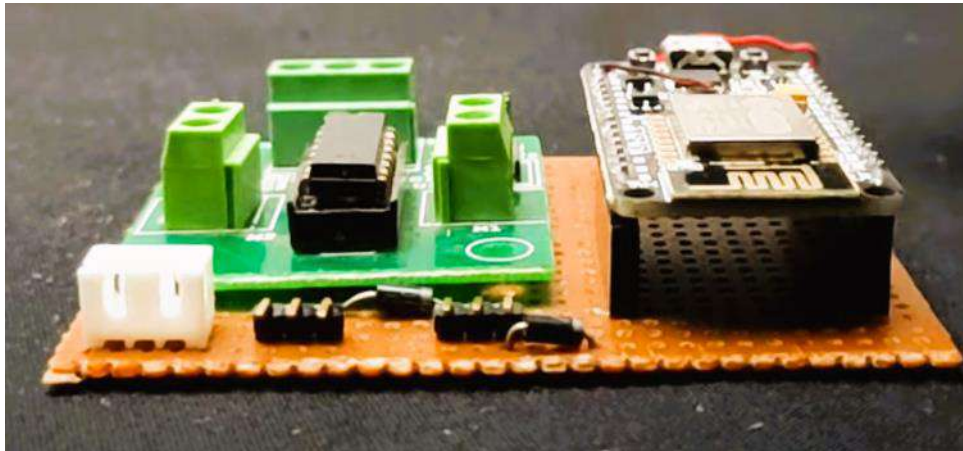


Рисунок 4.2 – Підключення NodeMCU та драйвера двигуна L293D до точкової плати

Підключення пристроїв керування завершено далі потрібно приступити до приєднання інших приладів кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

#### 4.2 Реалізація апаратної частини виміру вологості ґрунту та рівня води у горщику

Отже, після встановлення на точкову плату NodeMCU та драйвера двигуна L293D можна починати роботу над реалізацією виміру вологості ґрунту та рівня води у горщику. Для цього контакти ємнісного давача вологи GND підключаються до контактів GND модуля NodeMCU. Перший ємнісний давач вологості з контакту VCC під'єднується до контакту D1, а другий відповідно до D2. Завдяки описаним вище маніпуляціям пов'язаних з встановленням NodeMCU на малу точкову плату з'явилась можливість підключити два ємнісних давача вологи до єдиного аналогового контакту. Отже, виходи AOOUT давачів підключаються до A0. Для забезпечення правильної роботи виміру вологості субстрату потрібно провести

калібрування. Далі будуть наведені етапи калібрування ємнісного давача вологості ґрунту:

1. Потрібно взяти ґрунт, що підходить для вирощення конкретно обраної рослини.
2. Субстрат повністю висушується.
3. Обирається горщик, що максимально вміщуватиме ґрунт та рослину в ньому.
4. Намочується ґрунт 10 мл води (це 5% вміст води, але можна використати більший відсоток).
5. Вологий ґрунт перемішується, щоб забезпечити рівномірний розподіл води.
6. Вимірюється маса вологого ґрунту.
7. Потрібно повторювати пункти 6, 7, 8, доки ґрунт не насититься і не почнеться процес просочування води.
8. Коли субстрат насититься водою, викладається 200 мл ґрунту на сухий папір, щоб він знову висох.
9. Коли ґрунт висохне, потрібно виміряти його масу – це маса сухого ґрунту, яка використовується для виміру вологості ґрунту.

Описаний процес калібрування надасть кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу точних результатів та застереже від помилок у вимірюванні. Калібрування триває приблизно 7 днів, якщо врахувати процедуру сушіння. Процес перевірки роботи ємнісного давача вологості ґрунту продовжується протягом 10 хвилин на одне вимірювання, а при приблизно 6-10 вимірюваннях на один експеримент, спостереження за реакцією рослини, фактична робота може становити 1-2 години. В загальному повне спостереження за характеристикою вологості ґрунту може займати 7 днів. Другий ємнісний давач вологості розміщується всередину першого горщика, там він буде зчитувати значення рівня води. На рисунку 4.3 зображено встановлення ємнісного давача вологості для виміру рівня води.

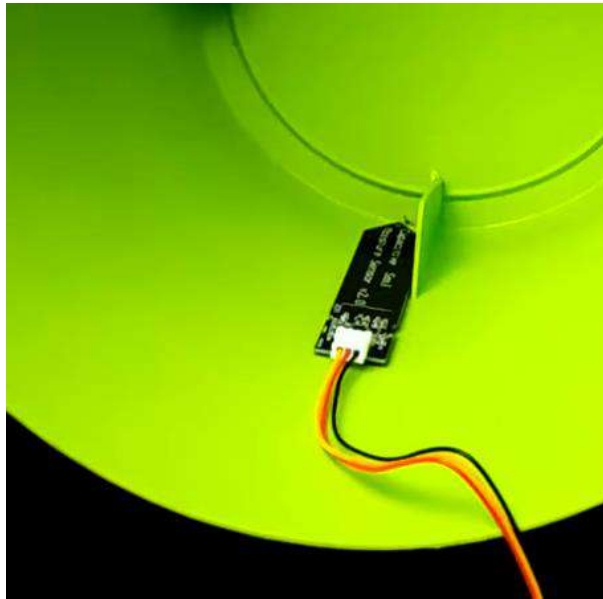


Рисунок 4.3 – Встановлення ємнісного датчика вологості для виміру рівня води

Ємнісний датчик вологості ґрунту, встановлюється вже у субстрат в якому знаходиться рослина. Тобто якщо користувач кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу хоче провести вимір вологості то він встановлює ємнісний датчик зразу в ґрунт. Як уже було зазначено підключення здійснюється на маленьку точкову плату. На рисунку 4.4 показано підключення ємнісного датчика вологості ґрунту, що вимірює рівень води у субстраті.



Рисунок 4.4 – Підключення ємнісного датчика вологості ґрунту, що вимірює рівень води у субстраті

### 4.3 Реалізація апаратної частини виміру вологості та температури повітря

Функціонал кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу не обмежується виміром вологості субстрату та рівня води у горщику, також можливим є вимір вологості та температури повітря. Отже після встановлення попередніх датчиків та пристроїв керування, необхідно встановити датчик DHT11, що вимірює температуру та вологість. Підключається він до прямого з'єднувача JST, який в свою чергу під'єднаний до NodeMCU. Контакт датчика DHT11 DATA підключений до контакту D3 NodeMCU. Виходи GND обох пристроїв приєднані один до одного. VDD датчика DHT11 приєднаний до 3V. Сам датчик DHT11 встановлюється на зовнішній горщик для зручного зчитування даних в повітря біля рослини. Встановлення датчика DHT11 на горщик зображено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Встановлення датчика DHT11 на горщик

Принцип роботи датчика DHT11 полягає в тому, що він вимірює відносну вологість повітря шляхом обчислення електричного опору між двох електродів. Датчик вологості DHT11 містить вологостійку підкладку з електродами, нанесеними на його поверхню. У період поглинання підкладкою водяної пари, іони

вивільняються підкладкою, що збільшує провідність між електродами. Зміна опору між двома електродами є пропорційною відносній вологості. Чим вище відносна вологість тим менше опір між електродами. У свою чергу нижча відносна вологість збільшує опір між електродами. Давач вологості та температури повітря DHT11 перетворює значення опору у відносну вологість на чіпі, встановленому на задній панелі та передає показання вологості та температури безпосередньо на NodeMCU. Джерело живлення для становить 5В постійного струму. Також не потрібно перенавантажувати давач, щоб не призвести його до нестабільного стану. Для фільтрації потужності між виходами VDD і GND додається один конденсатор ємністю 100 нФ. Якщо встановлювати кількість початкових даних переданих давачем DHT11 то це буде 40 біт. Потрібно встановити формат відправлених даних. Якщо передача даних правильна, контрольною сумою мають бути останні RH + 8 біт десяткових даних і RH + 8 біт інтегральних. Також для правильної роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу необхідно встановити основні технічні робочі характеристики давача DHT11:

- діапазон вологості становить приблизно 20-90% RH;
- точність вимірюваної вологості  $\pm 5\%$  RH;
- діапазон температур, що може розраховуватись 0-50 °C;
- точність вимірюваної температури  $\pm 2\%$  °C;
- робоча напруга давача від 3 В до 5,5 В.

Після всіх наведених апаратних налаштувань можна приступати до програмного коду, що надасть можливість вимірювати вологість та температуру повітря кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

#### 4.4 Реалізація апаратної частини надання води у ґрунт

Керує наданням води встановлений на точкову плату контролер двигунів L293D. Він приєднаний до NodeMCU. Вихід GND приєднаний відповідно до виходу GND. Напруга 5В приєднана до напруги 3В керуючого пристрою NodeMCU. Input 1 підключений до D4. Останнім під'єднанням L293D та NodeMCU

є supply до Vin. Далі необхідно підключити до драйвер двигуна L293D до водяного насосу. Ще один вихід supply підключається до 5В водяного насосу. Out4 приєднаний до GND водяного насосу. І останнім підключенням буде приєднання водяного насосу до шлангу через, який прохідиме вода. Драйвер двигуна забезпечить керування водяним насосом. Отже з однієї сторони водяного насосу підключений драйвер двигуна L293D, а з іншої шланг. На рисунку 4.6 зображено горщики, що надають рослині воду.



Рисунок 4.6 – Горщики, що надають рослині воду

Після наведених підключень розпочинається робота з облаштування горщиків. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу складається з двох горщиків. У перший наливається вода звідки і буде викачуватись вода в ґрунт з рослиною. Горщик чорного кольору зручно поміщається всередині глазуrowаного зеленого горщика. Зелений горщик має великий розмір, що надає можливість помістити всередину нього чорний і між ними буде вільний простір для більшого вмісту води.

Спочатку було заклеєно одну сторону шлангу за допомогою гарячого клею. Далі для розміщення шлангу потрібно зробити невеликий отвір у чорному горщику

(достатній для розміщення шлангу) та помітити шланг у цей отвір. Потім розмістити шланг у формі кола всередині горщика та закріпити його клеєм. Для зручного надання води у різних сторонах ґрунту було зроблено маленькі отвори на шлангу за допомогою паяльника. Водяний насос поміщається всередину води, а зверху встановлюється чорний горщик.

Після налаштування горщика час посадити свою улюблену рослину. Для цього чорний горщик наповнюється піском і землею. Після цього можна саджати рослину.

#### 4.5 Налаштування програмної частини роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Для зручного користування кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу було обрано програму blink. Вона містить доступні налаштування.

Для роботи з цією програмною потрібно завантажити її та встановити на телефон. У blink реєстрація здійснюється за допомогою електронної пошти. Далі натискається кнопка новий проект та задається ім'я проекту. Так як головним пристроєм керування у кіберфізичній системі моніторингу стану рослин в режимі реального часу є NodeMCU зі списку пристроїв обирається саме він. Потім з'являється кнопка створити. Натиснувши на екрані буде зображення повідомлення про те, що маркер автентифікації надіслано на вказану при реєстрації електронну пошту.

Після успішної реєстрації та вибору головного пристрою NodeMCU з'являється перелік приладів, що будуть здійснювати функціонал кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. У верхньому правому кутку є значок плюса, на нього і треба натиснути. Обираємо тип пристрою вимірювач і розміщаємо їх три штуки. Перший показник – це вологість ґрунту. Обираємо pin V6, а в розділі діапазону значення 0-100. Далі буде значення температури повітря з характеристиками pin V7, розділ діапазону значень 0-100. І

останнім показником являється вологість повітря. Налаштування буде наступним, рпн V8, діапазон значень 0-100. Рівень води відобразатиметься відсотковою шкалою від 0 до 100 з рпн V5. Останнім буде додавання кнопки запуску кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Вона має вихід D2. На рисунку 4.7 зображено меню керування.



Рисунок 4.7 – Меню керування

4.6 Результати роботи кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Після завершення налаштування мобільного застосунку та написання коду можна починати користуватись кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Потрібно увімкнути точку доступу Wi-Fi і відкрити програму blynk. Тепер є можливість контролювати стан рослини з будь-

якої точки світу. Готова кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу зображена на рисунку 4.8.

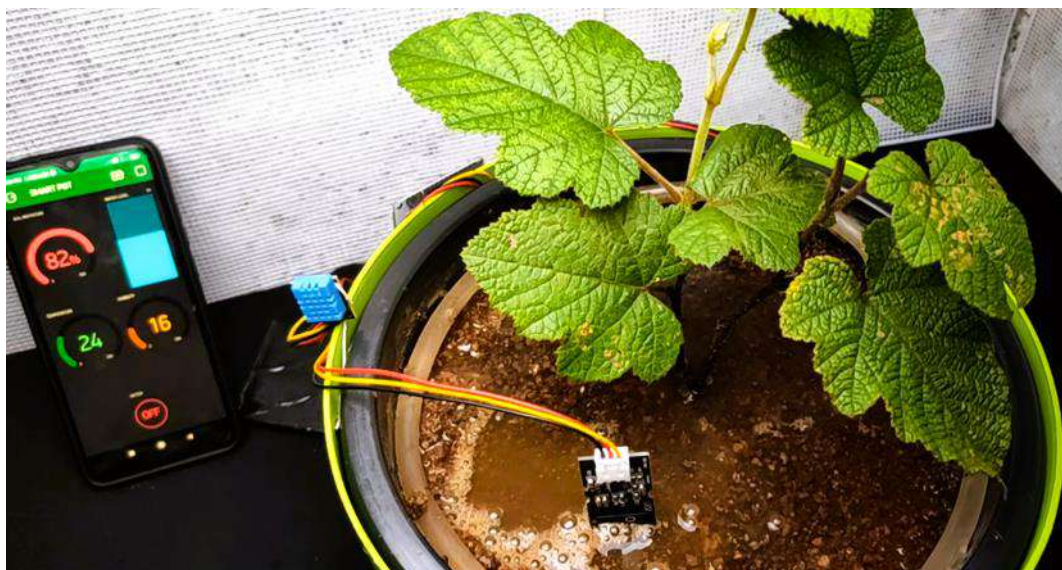


Рисунок 4.8 – Готова кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Отже в залежності від результатів вимірювання вологості ґрунту буде залежати чи необхідно надавати воду у субстрат. При низькому рівні вологи потрібно натиснути кнопку запуску і кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу надасть воду. Якщо рівень води у першому горщику зменшується долити.

Протягом місяця проводились виміри показників вологості та температури повітря, вологості ґрунту. На основі цих вимірів встановлювалось підвищення і навпаки зниження значень. Також спостерігалась реакція рослини на зміни. На рисунку 4.9 зображено діаграму виміру температури повітря протягом місяця.

З рисунку 4.9 можна зробити висновок, що температура постійно коливалась в залежності від погоди та кондиціонеру в приміщенні. Оптимальною температурою для кімнатної рослини, що вирощувалась у цей період є 20-25 °С. Завдяки спостереженню за результатами виміру температура у приміщенні була налаштована на цей діапазон з малими похибками у 1 день, 8, 15, 20 та 25. На останній день температура була оптимальною.



Рисунок 4.9 – Діаграма виміру температури повітря протягом місяця

Вологість повітря також підлягала спостереженню протягом місяця. На рисунку 4.10 зображено діаграму виміру вологості повітря протягом місяця.

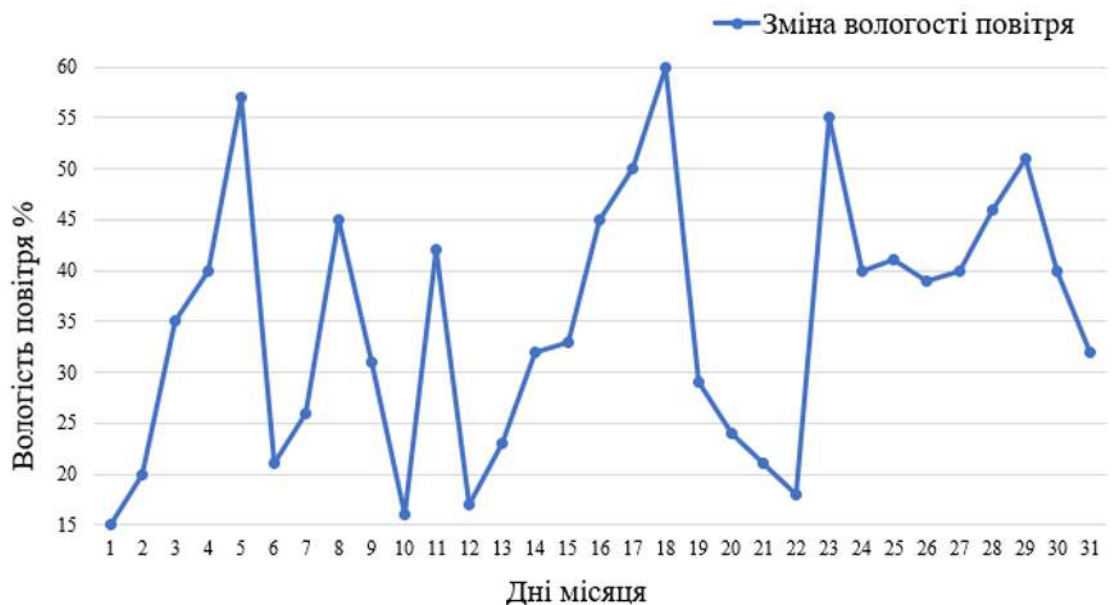


Рисунок 4.10 – Діаграма виміру вологості повітря протягом місяця

Вважається, що вологість повітря у приміщенні для рослини має бути від 40% до 60%. На 1 день вологість була найнижчою і становила 15%. Після проведення виміру вона поступово підвищувалась до потрібного результату. У результаті

вигляд рослини покращився. Загалом чим більша температура тим більше повинно бути значення вологості повітря.

Останнім чинником життя рослини є вологість ґрунту в, якому вона росте. На рисунку 4.11 зображено діаграму виміру вологості ґрунту протягом місяця

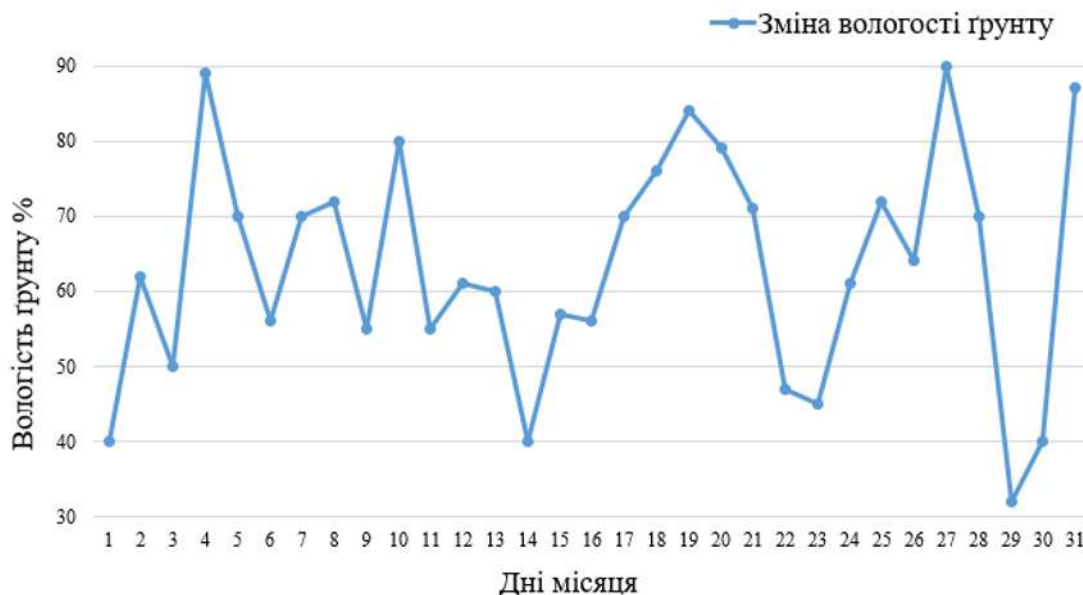


Рисунок 4.11 – Діаграма виміру вологості ґрунту протягом місяця

Найбільш оптимальна вологість ґрунту для рослини є від 50% до 90%. З рисунку 4.11 видно, що спочатку вологість становила 40% після чого спрацювала система і здійснилось надання води. На 31 день вологість була збільшена на 90%. У подальшому кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу продовжить надавати воду для підтримання вологості ґрунту в оптимальному показнику.

#### 4.7 Висновки

У розділі реалізовано апаратно-програмну частину науково-дослідної роботи над кіберфізичною системою моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Здійснено поєднання всіх складових давачів, пристроїв керування та допоміжних складових. Написано програмний код, що працює над основною функцією системи.

Налаштовано застосунок blynk, який дозволяє дистанційно керувати системою.  
Проведено огляд результатів отриманих від моніторингу та найголовніше покращено стан рослини.

## ВИСНОВКИ

Метою даної магістерської роботи було створення кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Функціонал системи окрім основних функцій запропонованих аналоговими пристроями на ринку, привносить нові вирішення проблеми моніторингу стану рослини.

У першому розділі науково-дослідної роботи було спочатку визначено цілі та мета. Потім проведено дослідження сучасного ринку зі списком характеристик і функцій доступних аналогових пристроїв. Необхідною складовою дослідження є огляд характеристик, що впливають на рослину. Температура та вологість повітря, вологість ґрунту належать до необхідних змінних, які найбільше впливають на умови рослин.

У другому розділі містився огляд особливостей кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Розглянуто основні чинники успішної системи, що вплинули на створення даної науково-дослідної роботи. Використання кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу може мати різні види. Тому її функціонал проаналізований з різних сторін. Що дозволило в подальшому поширити можливості системи та забезпечити надійність та швидкодію. Без формул прорахування характеристик навколишнього середовища рослини давачі не здійснять свою роботу. Тому проведено дослідження для визначення формул прорахунку та методів їх застосування.

У третьому розділі проводиться вибір апаратних складових кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Типи давачів, за допомогою яких будуть вимірюватися описані величини та чому були обрані саме вони описані в третьому розділі. Ємнісний давач вологості ґрунту забезпечує надання інформації про кількість води у субстраті. Модулем керування всієї кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є NodeMCU. Для з'єднання всіх елементів використовується саме він. Взаємний зв'язок необхідний для роботи надає NodeMCU. Він керує шиною та

інтерфейсами, які використовуються давачами. Найважливішу роль у функціонуванні кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу є вибір технології бездротової мережі, яка повинна забезпечити передачу даних для відображення їх користувачеві. На основі дослідженого ринку найбільш підходящою є мережа Wi-Fi.

У четвертому розділі проводиться фінальний етап роботи, а саме розробка. Підключення апаратних складових та їх програмне налаштування. Аналізується процес виміру характеристик для покращення роботи.

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

Набула подальшого розвитку апаратно-програмна реалізація систем моніторингу за рослинами. Надано можливість постачання води у ґрунт завдяки розумному горщику. Проведено дослідження характеристик субстрату і на основі цього враховано особливості його структури. Давачі працюють за алгоритмом, який враховує особливості повітря. Проведено роботу з усунення проблем затримки результатів роботи давачів, модулів та сенсорів

Впровадження результатів роботи дозволили покращити стан рослин, а також удосконалили можливість моніторингу.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези:

1. Побережна А.Ю. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. *Тези у матеріалах конференції XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»* 17-18 листопада 2023 р. Хмельницький., Україна.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

2. Засуха А. А. Зміна біометричних показників рослин кукурудзи залежно від застосування добрив та регуляторів росту рослин. *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 46–54.
3. Ткач О.. Особливості росту і розвитку рослин насінників цикорію коренеплідного. *SWorldJournal*. 2020. № 18-02. С. 84–90.
4. Aftanaziv I. S. Ріст сільськогосподарських рослин із новітніми технологіями водопідготовки. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. Т. 28, № 6. С. 23–29.
5. Abhishek Joshi, Jigar Patel. Smart Parking System using ESP8266 Wi-Fi Module. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2023. P. 88–95.
6. Aggarwal R. Wireless Communication: Evolution and Advance Wireless Communication. *International Journal of Sustainable Development Research*. 2022. Vol. 4, no. 2. P. 25.
7. Bas E. Controlling Humidity and Moisture. *Indoor Air Quality*. 2020. P. 151–180.
8. Zakharenko N. O.. Daily behavior and body temperature at low air temperature in the framework type. *Ukrainian journal of veterinary sciences*. 2020. Vol. 11, no. 1. P. 121–133.
9. Fursov I., Shmatko A. ISSUES OF DETERMINING SECURITY BREACHES OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS. *Young Scientist*. 2023. Vol. 9, no. 85.
10. Internet of Things Applications. *Regular*. 2022. Vol. 9, no. 2. P. 962–968.
11. Dohler M. Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*. 2023. Vol. 61, no. 5. P. 120–121.
12. Javida Damirova J. D., Laman Musayeva L. M. Internet of things. *PAHTEI- Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions*. 2022. Vol. 13, no. 02. P. 33–43.

13. Journal I. Internet of Things. *Interantional journal of scientific research in engineering and management*. 2024. Vol. 08, no. 01. P. 1–6.
14. Jumingin J., Atina A., Juanda A. Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor DHT11. *Jurnal Ampere*. 2022. Vol. 7, no. 2. P. 73.
15. Madakam S. Internet of Things: Smart Things. *International Journal of Future Computer and Communication*. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 250–253.
16. Matbabayev M., Urmonov S. METHOD OF MEASURING HUMIDITY OF AIR. *МИСТЕЦТВО НАУКОВОЇ ДУМКИ*. 2022.
17. Patel R., Sanghvi H., Pandya A. S. Autonomous robotic system for ultraviolet disinfection. *Cyber-Physical Systems*. 2022. P. 231–240.
18. Syaiji A. A., Hidayat R. Sistem otomatisasi pemanas air menggunakan sensor dht11 berbasis arduino uno. *Teknokom*. 2023. Vol. 6, no. 2. P. 104–108.
19. Wypych A. Air Humidity Change. *Climate Change in Poland*. Cham, 2021. P. 331–348.
20. Interface the L293D motor driver with Arduino - ElectroVigyan. ElectroVigyan. URL: <https://www.electrovigyan.com/arduino/l293d-motor-driver/> (дата звернення: 03.02.2024).
21. What are Cyber Physical Systems? (Design Elements & Factors). URL: <https://www.erp-information.com/cyber-physical-systems> (дата звернення: 05.02.2024).
22. Ісак Л. Інформаційні технології. *Grail of Science*. 2023. № 30. С. 187–191.
23. Big future for cyber-physical manufacturing systems. URL: <https://www.designworldonline.com/big-future-for-cyber-physical-manufacturing-systems/> (дата звернення: 12.01.2024).
24. What are Cyber-Physical Systems, Cyber-Physical Lab, Newcastle University..URL: [https://research.ncl.ac.uk/cplab/aboutthelab/whatarecyber-physicalsystems/#:~:text=Cyber-Physical%20Systems%20\(CPS\),to%20deliver%20some%20global%20behaviour](https://research.ncl.ac.uk/cplab/aboutthelab/whatarecyber-physicalsystems/#:~:text=Cyber-Physical%20Systems%20(CPS),to%20deliver%20some%20global%20behaviour). (дата звернення: 06.05.2024).



36. Arifin Noor, Asyikin. IoT Based Smart Aquarium using NodeMCU. *IIAI Letters on Informatics and Interdisciplinary Research*. 2024. Vol. 5. P. 1.
37. Пестициди: велика шкода, мала користь – Екологія Право Людина. URL: <https://epl.org.ua/environment/pestytsydy-velyka-shkoda-mala-koryst/> (дата звернення: 19.02.2024).
38. Mrs. Snehal Abhangrao. Line Man Safety using NodeMCU ESP8266. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2022. P. 416–419.
39. M G., M S. Smart Irrigation and Monitoring Using NodeMCU and IoT. *DS Journal of Digital Science and Technology*. 2023. Vol. 2, no. 3. P. 17–26.
40. Instructables. Measuring Humidity Using Sensor (DHT11). URL: <https://www.instructables.com/Measuring-Humidity-Using-Sensor-DHT11/> (дата звернення: 18.04.2024).
41. Климко М. 20 кімнатних рослин, які не люблять світла: перелік та опис. URL: [https://zaxid.net/20\\_kimnatnih\\_roslin\\_ne\\_lyublyat\\_bagato\\_svitla\\_perelik\\_n1534169](https://zaxid.net/20_kimnatnih_roslin_ne_lyublyat_bagato_svitla_perelik_n1534169) (дата звернення: 10.03.2024).
42. Smart Plant Monitoring System using IoT. URL: <https://www.hackster.io/ew685283/smart-plant-monitoring-system-using-iot-816c60> (дата звернення: 16.11.2023).
43. Effects of microcystin-LR and cylindrospermopsin on plant-soil systems: A review of their relevance for agricultural plant quality and public health - PubMed. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27702441/> (дата звернення: 10.01.2024).
44. Qiang T. Nodemcu-based Low-cost Smart Home Node Design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 435. P. 012013.
45. Plant P. Paradigms under Pressure: Green Guidance. *Nordic Journal of Transitions, Careers and Guidance*. 2023. Vol. 1, no. 1. P. 1–9.
46. Хвороби рослин. URL: [https://floristics.info/ua/kimnatni-roslini/hvoroby.html#google\\_vignette](https://floristics.info/ua/kimnatni-roslini/hvoroby.html#google_vignette) (дата звернення: 16.11.2023).
47. Rana A., Chauhan K. Internet of things (IOT) technology assessment. *Asian Journal of Multidimensional Research*. 2023. Vol. 10, no. 10. P. 1464–1471.

48. Sulastri A. Internet of Things Technology Development. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*. 2023. Vol. 4, no. 1. P. 52–66.
49. Liberg O. Choice of IoT technology. *Cellular Internet of Things*. 2022. P. 687–707.
50. Dr. Shambulingana Gouda. Home Automation using Blynk. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2022. P. 355–356.
51. Weather Monitoring System using Blynk Application. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9, no. 1. P. 1315–1319.
52. Xiaomi Mi Flora. URL: <https://smarthomescene.com/reviews/xiaomi-miflora-plant-sensor-tuya-version-hhccjcy10-review/> (дата звернення: 10.11.2023).
53. FYTA Beam. URL: <https://fyta.de/en> (дата звернення: 07.12.2023).
54. Parrot Flower Power. URL: <https://www.cnet.com/reviews/parrot-flower-power-review/> (дата звернення: 14.12.2023).
55. Sangsanit K., Techapanupreeda C. NodeMCU Choreography Automation by CoAP. *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 9–11 January 2019.
56. Bangaru V., Deshamonula S., Krishna S. R. Single Axis Sun Tracking Solar System Using IC L293D. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 66–73.
57. Törngren M. Characterization, Analysis, and Recommendations for Exploiting the Opportunities of Cyber-Physical Systems. *Cyber-Physical Systems*. 2022. P. 3–14.
58. Letichevsky A. A. Cyber-Physical Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 53, no. 6. P. 821–834.
59. Zakharenko N. O. Daily behavior and body temperature at low air temperature in the framework type. *Ukrainian journal of veterinary sciences*. 2020. Vol. 11, no. 1. P. 121–133.
60. Erol-Kantarci M. Energy-Harvesting Low-Power Devices in Cyber-Physical Systems. *Cyber-Physical Systems*. 2021 P. 55–74.

61. Ludin A. Device File system. *Learn BlackBerry 10 App Development*. Berkeley, CA, 2014. P. 323–326.
62. Matsushima D. Thermal Inertia-Based Method for Estimating Soil Moisture. *Soil Moisture*. 2019.
63. Ng C. F. S. *Temperature and Rainfall*. *Handbook of Air Quality and Climate Change*. Singapore, 2022. P. 1–18.
64. Huang Z. Operation Parameters Calculation. *Abrasive Water Jet Perforation and Multi-Stage Fracturing*. 2018. P. 191–203.
65. Roston G. P., von Tobel B. Device Development. *Monitoring in Neurocritical Care*. 2019. P. 374–383.
66. Siehl H.-U., Vrček V. Calculation of NMR Parameters in Carbocation Chemistry. *Calculation of NMR and EPR Parameters*. Weinheim, FRG, 2021. P. 371–394.
67. Yuvaraj M. Soil Salinity and Its Management. *Soil Moisture Importance*. 2021.
68. Spiridonov V., Čurić M. Air Temperature. *Fundamentals of Meteorology*. Cham, 2020. P. 73–86.
69. Wang H. Soil Moisture Retrieval from Microwave Remote Sensing Observations. *Soil Moisture*. 2019.
70. Computer Science Computer Science Academy. Python for Data Analysis: A Complete Guide for Beginners, Including Python Statistics and Big Data Analysis. Independently Published, 2020.
71. Ehsan H., Rehmat A., Cardella M. Computer Science Unplugged. *Science and Children*. 2019. Vol. 057, no. 03.
72. Kolbasin A., Husu O. Computer-aided design and Computer-aided engineering. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 170. P. 01115.
73. Nasution M. K. M., Hidayat R., Syah R. Computer Science. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 1142.

74. Wolf M. Computer Engineering Education. *Computer*. 2022. Vol. 55, no. 12. P. 27–37.
75. S B. COMPUTER NETWORKS. *International Scientific Journal of Engineering and Management*. 2023. Vol. 02, no. 04.
76. Три варіанти очистити повітря. Чисте повітря завжди актуальне, а особливо коли знаходишся весь час вдома на карантині. URL: <https://man.rv.ua/news/dystantsine-navchannia/ochyshchuvach-povitria-dlia-budyunku-svoimyu-rukamy.html> (дата звернення: 12.01.2024).
77. Soil Moisture Sensor User Manual. URL: <https://www.vernier.com/manuals/sms-bta/?cn-reloaded=1> (дата звернення: 01.05.2024).
78. Glossary | Library | Murata Manufacturing Co., Ltd. URL: <https://www.murata.com/en-global/products/thermistor/library/basic/term#ntc-at> (дата звернення: 13.04.2024).
79. Capacitive Soil Moisture Sensor Calibration with Arduino – Maker Portal. URL: <https://makersportal.com/blog/2020/5/26/capacitive-soil-moisture-calibration-with-arduino> (дата звернення: 17.02.2024).
80. Hacking a Capacitive Soil Moisture Sensor (v1.2) for Frequency Output. URL: <https://thecavepearlproject.org/2020/10/27/hacking-a-capacitive-soil-moisture-sensor-for-frequency-output/> (дата звернення: 06.05.2024).
81. Побережна А.Ю. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. *Тези у матеріалах конференції XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»* 17-18 листопада 2023 р. Хмельницький., Україна.

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)

**ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ  
СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО  
ЧАСУ**

```

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <DHT.h>
char auth[] = "shrthsrthshszccw";
char ssid[] = "edison science corner";
char pass[] = "ghedcbnopq";
int readD1;
int readD2;
int moisture_sensor1;
int moisture_sensor2;
int Pin_D1 = 7;
int Pin_D2 = 1;
int Pin_D4 = 9;
#define DHTPIN 0
#define DHTTYPE DHT11
const int dry = 6070;
const int wet = 2080;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
BlynkTimer timer;
const int dry = 600;
const int wet = 200;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Pin_D1, OUTPUT);
  pinMode(Pin_D2, OUTPUT);
  pinMode(Pin_D4, OUTPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  dht.begin();
  timer.setInterval(1000L, sendSensor);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}
void sendSensor()
{
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();for Fahrenheit
  Blynk.virtualWrite(V7, t);
  Blynk.virtualWrite(V8 , h);
}
void loop()
{
  Blynk.run();
}

```

```
digitalWrite(Pin_D1, HIGH);
delay(100);
readD1 = analogRead(0);
digitalWrite(Pin_D1, LOW);
delay(100);
digitalWrite(Pin_D2, HIGH);
delay(100);
readD2 = analogRead(0);
digitalWrite(Pin_D2, LOW);
delay(100);
moisture_sensor1=map(readD1, wet, dry, 100, 0);
moisture_sensor2=map(readD2, wet, dry, 100, 0);
Serial.print("sensor 1 = ");
Serial.print(readD1);
Serial.print("/sensor 2 = ");
Serial.println(readD2);
if (moisture_sensor2<=50)
{
  digitalWrite(Pin_D4,HIGH);
  delay(10);
}
if (moisture_sensor2>50)
{
  digitalWrite(Pin_D4,LOW);
  delay(10);
}
Blynk.virtualWrite(V5, moisture_sensor1);
Blynk.virtualWrite(V6, moisture_sensor2);
timer.run();
}
```

## ДОДАТОК Б

### ТЕЗИ

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

УДК 004.4

Побережна А.Ю.

*Хмельницький національний університет*

#### **КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

*Розглянуто прикладні аспекти розробки кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг стану рослин в режимі реального часу. Запропонована кіберфізична система надає точні параметри умов в, яких знаходиться рослина для їх покращення.*

*The applied aspects of the development of a cyber-physical system, which allows monitoring the condition of plants in real time, are considered. The proposed cyberphysical system provides accurate parameters of the conditions in which the plant is located for their improvement.*

Рослини відіграють важливу роль у житті кожної людини. Завдяки проведеним дослідженням було встановлено вплив на психологічний стан суспільства, а саме зниження стресу, поліпшення настрою, підвищення продуктивності та покращення концентрації уваги [1]. Фізичне здоров'я також покращується, знижується артеріальний тиск та головна біль. Всі ці позитивні наслідки на самопочуття особи, що взаємодіє з рослинністю спричинені тим, що вона перебуває в здоровому стані. Але ситуація кардинально змінюється коли потреби рослини ігноруються. Наслідком цього є погіршення здоров'я не тільки рослини, а і людини, що знаходиться поруч з нею. Хвора рослинність може бути джерелом патогенних мікроорганізмів і грибків, які впливають на самопочуття шляхом аерозольної інфекції. Деякі види домашніх квітів виділяють токсичні речовини, які є вкрай небезпечними. Описані наслідки поганого догляду за рослинами показують важливість вчасного передбачення їх потреб.

Практичним завданням є спостереження за станом рослини у зручному форматі, в режимі реального часу.

На сьогоднішній день існують прилади, що здатні здійснювати спостереження за рослинами. Наприклад відома китайська компанія Xiaomi, відома своїм широким асортиментом побутової техніки, випустила пристрій Xiaomi Mi Flora. Прилад вимірює температуру, вологість ґрунту та кількість поживних речовин. Додаток Mi Home забезпечує обробку та перегляд вимірянних даних. Xiaomi Mi Flora використовує технологію Bluetooth та має невеликий розмір.

Незважаючи на всі переваги Xiaomi Mi Flora він має ряд недоліків. У приладі відсутні повідомлення про зниження рівня вологості. Функціонал обмежується в залежності від місцезнаходження. Також потрібно перевіряти сумісність пристрою з смартфоном на якому встановлюється програмне

забезпечення. При відсутності достатньої вологи прилад не здатен здійснити надання води рослині. Пристрій некоректно працює у горщиках з великим субстратом, наприклад як в орхідеї [2].

Існують також аналоги Xiaomi Mi Flora, а саме Parrot Flower Power та FYTA Beam. Вони мають подібний функціонал і недоліки Xiaomi Mi Flora.

Враховуючи всі описані критерії Xiaomi Mi Flora і його аналогів вони не вирішують проблеми правильного моніторингу стану рослин.

Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу вирішує поставлені завдання. Завдяки даному пристрою користувач має можливість дізнатись про вологість ґрунту (в якому перебуває рослина), вологість повітря, температуру повітря. Прилад чітко вимірює показник вологості субстрату різного розміру [3]. Місцезнаходження для користування не важливе, пристрій працює у будь-якому регіоні. Також кіберфізична система моніторингу стану рослин оснащена розумним горщиком, що надає рослині при потребі необхідну кількість води для встановлення оптимальної вологості ґрунту. Весь функціонал проводиться через додаток у смартфоні або комп'ютері.

Метою роботи є розробка кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг стану рослин в режимі реального часу.

Розробка кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу складається з таких етапів: проектування апаратної частини, налаштування програмного забезпечення, розробка апаратної частини, інтеграція всіх складових системи.

Проектування апаратної частини розпочинається з вибору її компонентів (таблиця 1).

Таблиця 1 – Компоненти апаратної частини

Назва	Призначення
Wi-Fi модуль NodeMCU на основі ESP8266	Надсилання та отримання даних
Ємнісний датчик вологості ґрунту	Визначення вологості ґрунту
Сенсорний модуль DHT11	Визначення температури та вологості
Драйвер двигунів L293D	Керування наданням води
Водяний насос 5В	Надання води
Шланг довжиною 1 метр та діаметром 1 сантиметр	Переливання води
Батареї на 9В	Джерело електричної енергії
Контактні піни	З'єднання між платами
Діоди 1N4007	Перетворення змінного струму в постійний
Загальна друкована плата	Підтримка та з'єднання всіх компонентів
Провід	Проведення електричного струму

Далі розробляється принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослини в режимі реального часу (рисунок 1).

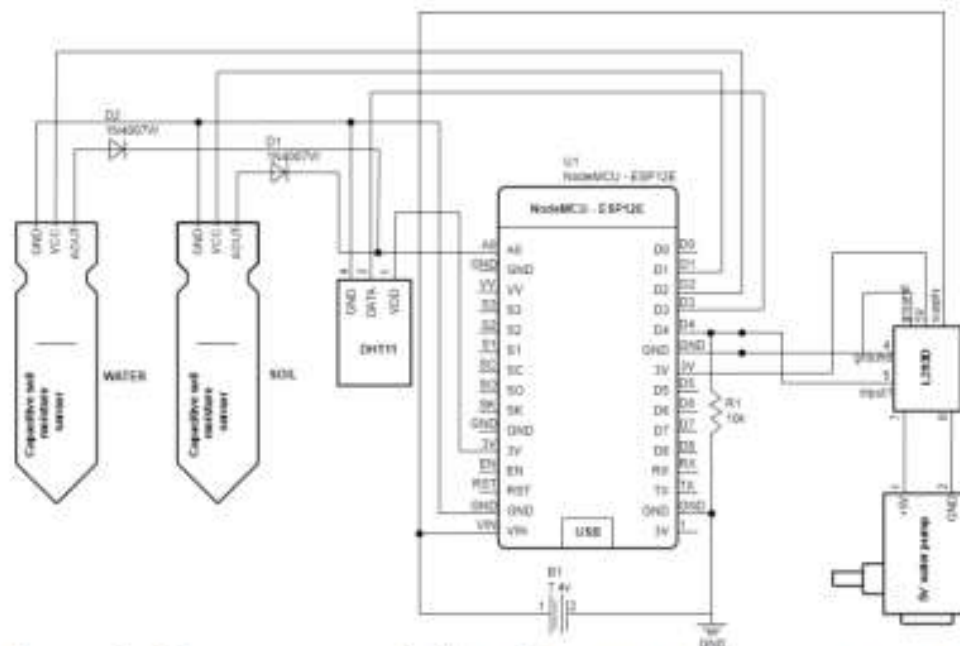


Рисунок 1 – Принципова схема кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу

NodeMCU зчитує значення датчиків вологи та модуля DHT, а потім надсилає ці значення на сервер Blynk через Wi-Fi з'єднання. Крім того, він керує насосом відповідно до вологості ґрунту або за допомогою команд програми. Позитивні клеми датчиків вологості під'єднуються до цифрових контактів 1 і 2, тому є можливість вмикати та вимикати кожен датчик. Тобто, якщо D1 ввімкнено, це означає, що датчик 1 ввімкнено. Діоди підключаються до виходів кожного датчика, а інша сторона діода під'єднується до аналогового штифта. Спочатку обертається D1 і одночасно зчитується аналогове значення. Отже, отримується аналогове значення 1 датчика. Далі вимикається D1 і вмикається D2 для отримання аналогового значення 2 датчика. Датчик DHT11 підключається до цифрового контакту 3, а драйвер двигуна L293D до D4. Резистор 10кОм використовується для витягування штифту двигуна. Модуль драйвера двигуна L293D має три контакти живлення на 5В. Контакт живлення L293D під'єднується до позитивної сторони батареї та до контакту 3,3В NodeMCU.

Налаштування програмного забезпечення відбувається в додатку Blynk. У ньому потрібно додати параметри, які зчитуються апаратною складовою. Це

температура, вологість ґрунту та вологість повітря. Для подання води мотором додається кнопка запуску.

Розробка апаратної частини здійснюється на основі принципової схеми (рисунок 2).



Рисунок 2 – Апаратна частина кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу



Рисунок 3 – Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

На останньому кроці розробки відбувається інтеграція апаратної та програмної частини через Wi-Fi. У результаті отримується кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу (рисунок 3).

Отже, запропонована кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу надає можливість отримати достовірні дані про вологість ґрунту, вологість повітря, температуру повітря, а також має функцію поливу. Подальші дослідження спрямовані на додавання нового функціоналу (система подання поживних речовин у ґрунт).

#### **Перелік посилань**

1. Rudnyk-Ivashchenko O. I., Tsandur M. M., Schwartau V. V. Features of the impact of low temperatures on *Actinidia arguta*. *Fiziologia rastenij i genetika*. 2022. T. 54, № 5. С. 450–459.
2. Xiaomi Mi Flora. URL: <https://www.danielmartingonzalez.com/en/caring-your-plants-with-mi-flora-and-home-assistant/>
3. Barrett S. F., Pack D. J. *Microcontrollers Fundamentals for Engineers and Scientists. Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*. 2022. T. 1, № 1. С. 1–124.



Міністерство освіти і науки України  
Хмельницький національний університет

## СЕРТИФІКАТ



### Побережна Анна Юріївна

учасник XV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
«Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»  
24 години участі (0,8 ECTS credits)

Голова оргкомітету АПКН-2023

**СИНЮК Олег Миколайович**  
проректор Хмельницького національного  
університету з наукової роботи,  
доктор технічних наук, професор

м. Хмельницький  
17-18 листопада 2023

E-mail: [apkt.khnu@gmail.com](mailto:apkt.khnu@gmail.com)

## ДОДАТОК В

### ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

# КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Виконала студентка 2-го курсу групи КІ2м-22-1  
Побережна А.Ю.

Керівник роботи доктор техн. наук, професор Яцків В.В.

## МЕТА РОБОТИ, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Метою кваліфікаційної роботи магістра є розгляд прикладних аспектів розробки кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг стану рослин в режимі реального часу.
- Об'єктом дослідження є процес моніторингу стану рослин в режимі реального часу.
- Предметом дослідження є метод та кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Актуальність роботи полягає в наданні точних даних про стан рослини для покращення умов її утримання. Це дозволить заощадити у витраті ресурсів та підвищенні врожайності. Також рослини матимуть гарний вигляд і підвищиться їх якість.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- визначення цілей моніторингу стану рослин;
- проведення огляду на відомі рішення поставленого завдання;
- розробка архітектури кіберфізичної системи;
- здійснення апаратно-програмної реалізації.

## НАУКОВА НОВИЗНА

- набув подальшого розвитку метод моніторингу стану рослин, що забезпечує видання результатів без затримок, а також надає можливість удосконалити навколишнє середовище. Був проведений аналіз помилок у даній темі та на основі них покращилась система контролю за рослинами;
- набула подальшого розвитку апаратно-програмна реалізація систем моніторингу за рослинами. Надано можливість постачання води у ґрунт завдяки розумному горщику. Проведено дослідження характеристик субстрату і на основі цього враховано особливості його структури. Давачі працюють за алгоритмом, який враховує особливості повітря. Проведено роботу з усунення проблем затримки результатів роботи давачів, модулів та сенсорів.

## ОСНОВНИЙ ФУНКЦІОНАЛ СИСТЕМИ

- автоматичне надання рослині води;
- вимірювання вологості ґрунту встановлення температури та вологості повітря навколо рослини;
- наявність двох горщиків, перший виконує роль ємності для води, другий для розміщення рослини;
- визначення рівня води у відсотках;
- надання води рослині через застосунок (з будь-якого місця);
- уникнення ймовірності надмірного поливу.

## ПУБЛІКАЦІЯ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

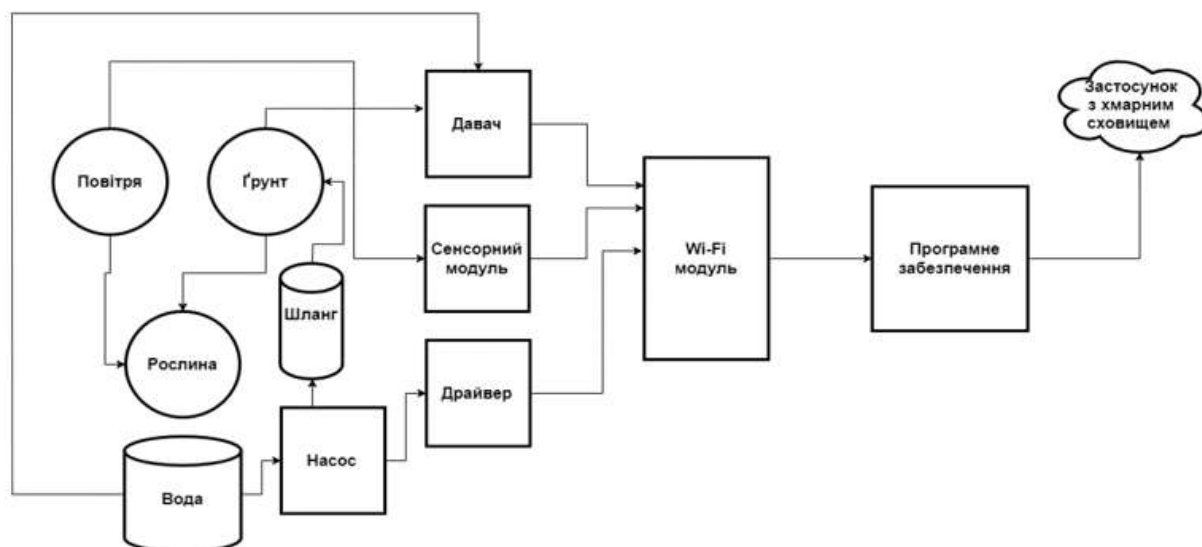
- Побережна А.Ю. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу. *Тези у матеріалах конференції XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»* 17-18 листопада 2023 р. Хмельницький., Україна.

## ЦІЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРАНИЙ МЕТОД ВИКОНАННЯ

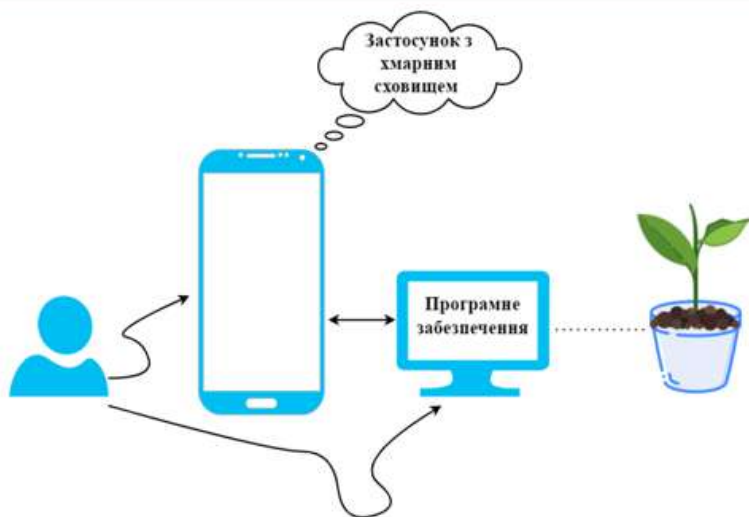
Основна ціль моніторингу полягає в тому, щоб допомогти створити ідеальні умови для росту та розвитку рослин, підвищуючи їх продуктивність, здоров'я та стійкість до стресу. Це можна досягти, надаючи оперативні дані про температуру, вологість повітря та рівень вологості ґрунту. Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу виконує цілі дослідження.

Для виконання поставленого завдання використовується технологія Інтернет речей та її платформа Blynk.

## АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ



## ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ



- встановлення рослини в горщик;
- реєстрація в мобільному застосунку з хмарним сховищем;
- проведення вимірів життєдіяльності рослини;
- надання води у ґрунт при необхідності;
- покращення властивостей повітря на основі потреб рослини.

## МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИНИ

- Вологість повітря:

$$RH = \left( \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) \times 100\%,$$

$\rho_w$  – вміст вологи (абсолютна вологість) повітря;

$\rho_s$  – густина насиченої водяної пари.

- Вологість ґрунту:

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s} \times 100\%,$$

$V_w$  – об'єм води;

$V_s$  – об'єм вологого ґрунту.

- Температура повітря:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \times \ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right),$$

$R_t$  – опір термістора;

$B$  – постійний коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора;

$R_0$  – опір термістора при температурі  $T_0$ ;

$T_0$  – температура при опорі термістора  $R_0$ .

## АПАРАТНА СКЛАДОВА



Wi-Fi модуль NodeMCU



Ємнісний давач вологості ґрунту



Драйвер двигунів L293D



Сенсорний модуль DHT11

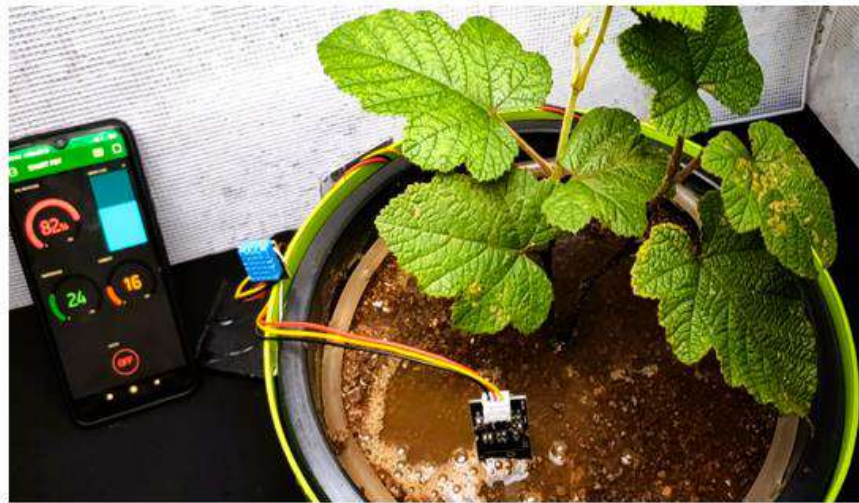
## ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ



Після реєстрації на платформі Blynk з'являється можливість побачити показники навколишнього середовища рослини.

Кнопка «Motor» запустить кіберфізичну систему.

## РЕЗУЛЬТАТ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ



## ВИСНОВОК

У результаті даної магістерської роботи було створено кіберфізичну систему моніторингу стану рослин в режимі реального часу. Здійснено аналіз цілей дослідження, а також аналогових пристроїв. Задано методи виміру характеристик навколишнього середовища рослини. Зроблено принципову схему системи на основі, якої реалізовано апаратно-програмну реалізацію.

Впровадження результатів роботи дозволили покращити стан рослин, а також удосконалили можливість моніторингу.

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1016257200

Дата перевірки:  
16.05.2024 19:30:04 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
16.05.2024 21:01:30 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Побережна\_Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Кількість сторінок: 103 Кількість слів: 19898 Кількість символів: 152642 Розмір файлу: 9.99 MB ID файлу: 1016044602

## 9.03% Схожість

Найбільша схожість: 6.27% з Інтернет-джерелом (<https://kn.khmn.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn-2023-cor...>)

8.79% Джерела з Інтернету 147 ..... Сторінка 105

1.04% Джерела з Бібліотеки 126 ..... Сторінка 107

## 0% Цитат

Цитати 1 ..... Сторінка 108

Посилання 1 ..... Сторінка 108

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 37

# Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 126448 Назва: МКР Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу Додано в БД: 2024-05-16 Автора: Побережна А.Ю. Керівники: Япків В.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	131691	1231	1269 (1%)	19 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Побережна Анна Юріївна

Тема: Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 88

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи магістра є покращення якості рослин шляхом впровадження кіберфізичної системи, що дозволяє здійснювати моніторинг їх стану в режимі реального часу.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі було встановлено цілі дослідження, проведено огляд на характеристики навколишнього середовища рослини та їх значущість, визначено проблеми відомих рішень поставленого завдання. У другому розділі проаналізовано особливості кіберфізичної системи моніторингу стану рослин в режимі реального часу, визначено методи розрахунку вологості ґрунту та вологості та температури повітря, розроблена архітектура системи, подано варіанти використання, виявлено чинники, що впливають на характеристики навколишнього середовища рослини. У третьому розділі вибрано апаратні складові, встановлено принципову схему. У четвертому розділі реалізовано встановлення пристроїв керування, реалізовано апаратну частину виміру вологості ґрунту та рівня води у горщику, реалізовано апаратну частину виміру вологості та температури повітря, реалізовано апаратну частину надання води у ґрунт, налаштовано програмну частину роботи, проведено огляд на результати дослідження.

4. Позитивні сторони роботи: Отримана кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу ураховує негативні аспекти аналогових рішень та усуває їх, має зручний та надійний інтерфейс застосування.

5. Негативні сторони роботи: Недостатньо уваги приділено виявленню кількості поживних речовин у ґрунті, а також рівню освітленості.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно з діючими стандартами оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на оцінку добре.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре» 4 (С).

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Мартишок Валерій Володимирович,  
зав. каф. АКТГР

“22” 05 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС  
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Побережної Анни Юріївни

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-22-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 квітня 2024 року



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система моніторингу стану рослин в режимі реального часу

Автор: Побережна Анна Юріївна

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Яцків Василь Васильович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) виявлені збіги – це посилання на мої тези доповіді на конференції;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості Unichesk, складає 9.03% і адресується до 273 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС


В. В. Яцків

О. С. Савенко

Т. О. Говорученко