

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень


Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red  
Назва теми


КВРКІ. 200117.20.01.15 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-20-1  Д.М. Нелюбін  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  К.М. Березька  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  І.О. Засорнова  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

 Т.О. Говорущенко  
Підпис Ініціали, прізвище

« 13 » червня 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 10 ” 01 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Нелюбіну Дмитру Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Керівник проекту (роботи) Березька К.М., доцент кафедри КІПС

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

Затверджена наказом ректора університету від 15.02.2024 р. №8

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 07.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз відомих засобів та рішень автоматизованого поливу

Проектування програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Реалізація програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red





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

Структура програмно-технічного пристрою та креслення сценаріїв у Node-red

Схема електрична принципова

Монтажна схема

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Засорнова І.О., доцент кафедри КІС		
Антиплагиат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 11 » 01 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

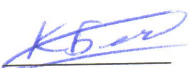
№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – Аналіз відомих засобів та рішень автоматизованого поливу	01.03.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – Проектування програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red	01.04.2024	виконано
5	Робота над розділом 3 – Реалізація програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red	30.04.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	20.05.2024	виконано
7	Попередній захист ВКР	30.05.2024	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2024 року	

Студент

  
Підпис

Нелюбін Д.М.  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

Березька К.М.  
Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red».

Автор роботи: *Нелюбін Дмитро Миколайович.*

Керівник роботи: *Березька Катерина Миколаївна.*

Пояснювальна записка: *60 с., 27 рис., 2 табл., 3 дод., 52 джерела.*

Графічна частина: 3 креслення.

**МОНІТОРИНГ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПОЛИВ, АВТОНОМНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ.**

Мета кваліфікаційної роботи: проектування та реалізація прототипу програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red.

З інтенсивним зростанням населення та стрімким розвитком урбанізації сучасний світ стикається зі складними викликами, пов'язаними з ефективним використанням водних ресурсів та підвищенням урожайності сільськогосподарських культур. Воду, яку колись вважали нескінченною, тепер вважають одним із найбільш дефіцитних ресурсів, що потребує ретельного управління. Це стає критичним завданням для забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку сільського господарства.





Одним із способів оптимізації використання водних ресурсів є впровадження автоматизованих систем поливу, що базуються на передових технологіях управління водними ресурсами. Ці системи використовують сучасні методи збору та аналізу даних, які включають сенсори вологості ґрунту, метеостанції та системи інтелектуального аналізу даних. Це дозволяє точно регулювати обсяги поливу в залежності від фактичних потреб рослин та умов навколишнього середовища.



12.06.2024

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....</b>	<b>4</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ЗАСОБІВ Й РІШЕНЬ АТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ ..</b>	<b>7</b>
1.1 Принципи функціонування “розумних” та автоматизованих систем поливу.....	7
1.2 Огляд відомих програмно-технічних засобів автоматичного зрошення	9
1.2.1 Еволюція системи зрошення .....	9
1.2.2 Залучення методів штучного інтелекту в системах зрошення .....	10
1.2.3 Аналіз відомих комерційних рішень .....	12
1.3 Висновки. Постановка задачі .....	19
<b>2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЛИВУ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ESP32 ТА NODE RED .....</b>	<b>21</b>
2.1 Вимоги до проєктованого програмно-технічного засобу .....	21
2.2 Протоколи обміну даними для функціонування програмно-технічних пристроїв .....	22
2.3 Структура програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red .....	27
2.4 Аналіз обраних рішень .....	31
2.4.1 Аналіз апаратних рішень.....	31
2.4.2 Аналіз програмних рішень .....	39
2.5 Висновки .....	42
<b>3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЛИВУ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ESP32 ТА NODE RED .....</b>	<b>43</b>

						<b>КвРКІ. 200117.20.01.15 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Нелюбін Д.М.						
Перевір.		Березька К.М.		13.06			2	60
Н.контр.		Засорнова І.О.				ХНУ, КІ2-20-1		
Затвер.		Говорущенко Т.О.		13.06				

3.1 Встановлення на комп'ютерній системі середовища візуалізації сценаріїв Node-RED та брокера mosquitto.....	43
3.2 Монтажна схема програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red .....	44
3.3 Схема електрична принципова .....	47
3.4 Реалізація функцій моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту у Node red.....	48
3.4.1 Функція керування поливом на основі рівня вологості ґрунту.....	48
3.4.2 Функція моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок.....	53
3.5 Висновки .....	58
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>59</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>61</b>
<b>ДОДАТОК А</b> Копія креслення «Структура програмно-технічного пристрою та креслення сценаріїв у Node-red».....	63
<b>ДОДАТОК Б</b> Копія креслення «Схема електрична принципова».....	64
<b>ДОДАТОК В</b> Копія креслення «Монтажна схема».....	65

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КС – Комп'ютерна система

ПЗ – Програмне забезпечення

ШІ – Штучний інтелект

CoAP – Constrained Application Protocol

IoT – Internet of Things

GPIO – General purpose input output

MQTT – Message queuing telemetry transport

WP – Water pump (водяний насос)

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

З інтенсивним зростанням населення та стрімким розвитком урбанізації сучасний світ стикається зі складними викликами, пов'язаними з ефективним використанням водних ресурсів та підвищенням урожайності сільськогосподарських культур. Воду, яку колись вважали нескінченною, тепер вважають одним із найбільш дефіцитних ресурсів, що потребує ретельного управління. Це стає критичним завданням для забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку сільського господарства.

Одним із способів оптимізації використання водних ресурсів є впровадження автоматизованих систем поливу, що базуються на передових технологіях управління водними ресурсами. Ці системи використовують сучасні методи збору та аналізу даних, які включають сенсори вологості ґрунту, метеостанції та системи інтелектуального аналізу даних. Це дозволяє точно регулювати обсяги поливу в залежності від фактичних потреб рослин та умов навколишнього середовища.

Окрім сільського господарства автоматизовані системи поливу також знаходять широке застосування у догляді за газонами та зеленими насадженнями. Сучасні технології управління водними ресурсами дозволяють оптимізувати полив газонів з урахуванням їх потреб та умов навколишнього середовища. Застосування давачів вологості ґрунту та метеостанцій дозволяє системам поливу точно визначати потреби газонів у воді в реальному часі. Інтелектуальний аналіз даних дозволяє регулювати обсяги поливу відповідно до поточних погодних умов, рівня вологості ґрунту та інших факторів, що впливають на здоров'я та зростання рослин. Це дозволяє забезпечити оптимальний рівень зволоження газонів, зменшуючи витрату води та зберігаючи їх естетичний вигляд. Тому розробка програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red є актуальним завданням.

При проектуванні програмно-технічного засобу важливо врахувати можливість не тільки аналізу вимірюваних значень вологості та активізацію поливу

для підтримання оптимального рівня вологості в ґрунті, але й реалізувати дану функцію на кожній ділянці незалежно. Це дозволить ефективно використовувати водні ресурси, активуючи полив лише на тих ділянках, де це необхідно, запобігаючи зайвому витраті води. Окрім того проєктований програмно-технічний засіб повинен володіти функцією автономності. Використання сонячних панелей як джерела енергії дозволить системі функціонувати безперебійно навіть в умовах віддалених або недостатньо розвинених регіонів. Це є екологічно чистим і енергоефективним підходом, що сприятиме збереженню природних ресурсів і зменшенню екологічного впливу.

Метою роботи є проєктування та реалізація прототипу програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red.

Об'єктом дослідження є процеси моніторингу вологості ґрунту та автоматизованого поливу.

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ЗАСОБІВ Й РІШЕНЬ АТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ

## 1.1 Принципи функціонування “розумних” та автоматизованих систем поливу

“Розумні” та автоматизовані системи зрошення використовуються для ефективного та оптимального зрошення рослин у сільському господарстві та сільськогосподарських системах (рисунок 1.1).

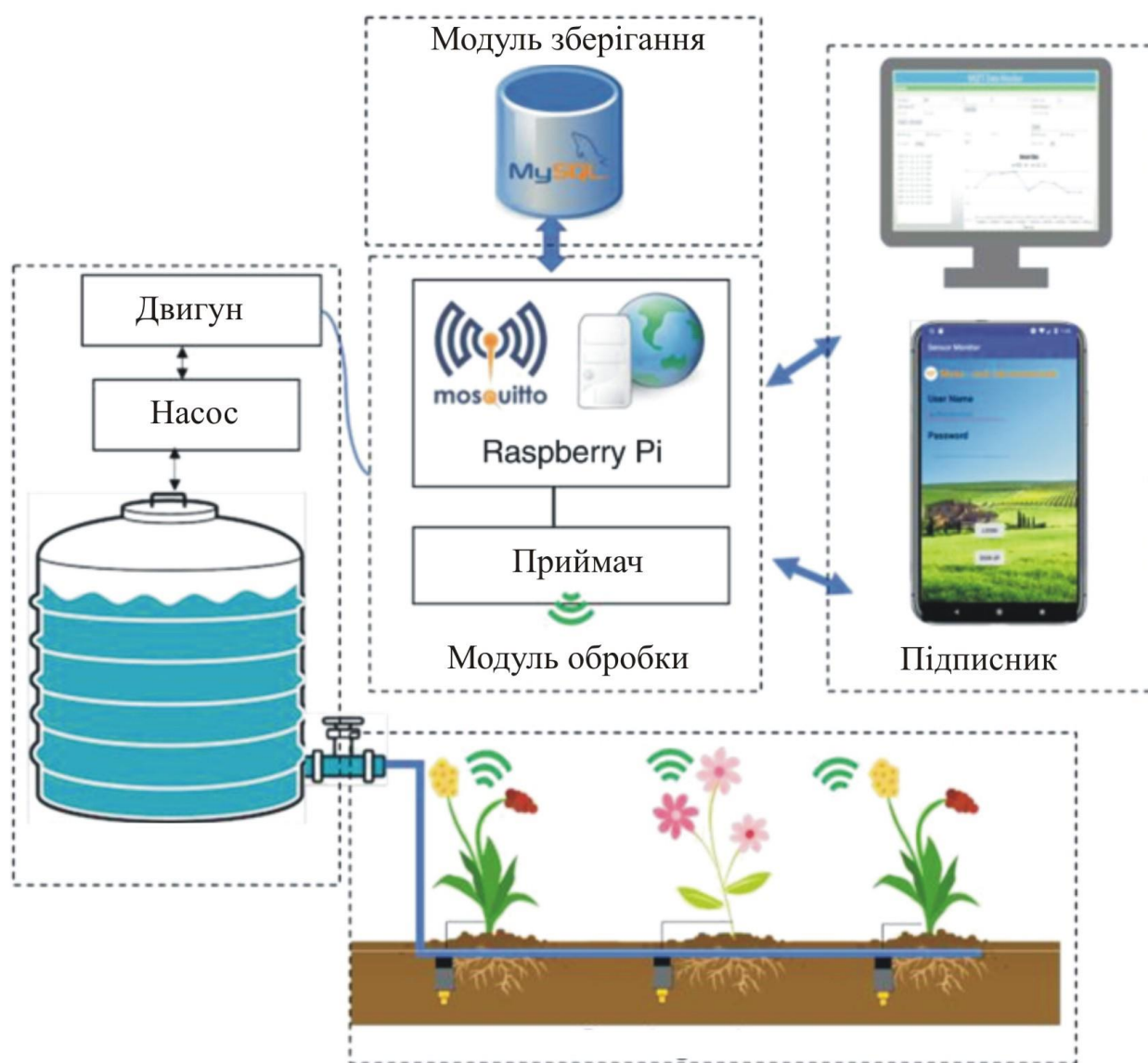


Рисунок 1.1 – Загальна схема функціонування автоматизованого поливу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата





історичні тенденції, кореляції та прогностичне моделювання. Цей аналітичний шар дозволяє фермерам розуміти конкретні водні потреби різних культур та оптимізувати стратегії поливу відповідно.

Автоматизація для точного поливу: автоматизація стала переворотним моментом у сфері розумного поливу. Завдяки реальним даним та висновкам з аналітики, ці системи можуть автономно контролювати процеси поливу. Автоматизовані клапани, насоси та алгоритми планування забезпечують, що культури отримують точно той обсяг води, який їм потрібен, зменшуючи втрати води та сприяючи ефективності використання води.

Інтеграція з прогнозуванням погоди: для підвищення адаптивності системи розумного поливу безшовно інтегруються з даними прогнозування погоди. Ця інтеграція дозволяє системі коригувати розклад поливу на основі очікуваних погодних умов, запобігаючи переполиву під час періодів дощу або збільшуючи полив під час суховій.

Віддалений моніторинг та керування: останнім кроком еволюції є можливості віддаленого моніторингу та керування. Фермери тепер можуть управляти своїми системами поливу через мобільні додатки або веб-інтерфейси, забезпечуючи реальний час бачення стану системи. Таким чином така функція віддаленої доступності додає шар зручності, дозволяючи фермерам вносити зміни на ходу.

Впровадження IoT та штучного інтелекту: Майбутня траєкторія систем розумного поливу включає в себе впровадження пристроїв Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ).

### 1.2.2 Залучення методів штучного інтелекту в системах зрошення

Розумна зрошувальна система складається з мікропрограмного забезпечення, програмного та апаратного забезпечення, пов'язаного між собою за допомогою різних обчислювальних методів, включаючи штучний інтелект (AI) і глибоке навчання (DL) тощо, що забезпечує потрібну кількість води в

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

посіви у відповідний час для покращення ефективності, збільшення врожайності, зменшення використання добрив, зменшення вартості праці та заощадження енергії. Для підвищення ефективності зрошувальної системи використовуються різні методи контролю шляхом моніторингу таких змінних, як температура навісу та повітря, випаровування, кількість опадів і сонячна радіація. Інтегруючи інформацію з багатьох джерел, розумні іригаційні системи можуть значно покращити виробництво сільськогосподарських культур і управління ресурсами.

Штучний інтелект (ШІ) – це здатність комп’ютерної системи навчатися та виконувати завдання, подібні до завдань людського мозку. При застосуванні до певної проблемної області алгоритми штучний інтелект може імітувати прийняття рішень людиною. Іригаційні системи були інтегровані з ШІ для адаптивного прийняття рішень за допомогою нечіткої логіки, експертних систем і штучних нейронних мереж (ШНМ).

Система нечіткої логіки є розширенням булевої логіки, яка виражає логічні значення у формі істини або хибності та демонструє нелінійність і невизначеність у проблемах реального світу [1]. Нечітка система використовує різні набори вхідних даних для категоризації даних у класах приналежності, а потім застосовує правило прийняття рішень до кожного набору для створення результатів рішень, подібних до людини [2]. Багато дослідників рекомендували використовувати нечітку логіку в системах управління зрошенням. Автори у [3] розробили систему нечіткого висновку, яка може контролювати швидкість центрального шарніра відповідно до мінливості просторового поля. Нечітку систему зрошення, розроблену у [4] було використано для обчислення евапотранспірації (сумарне випаровування) через систему нечіткого логічного висновку з використанням погодних змінних як вхідних даних. Вони виявили, що нечітка модель була точною та швидкою для отримання необхідного випаровування та чистого зрошення для відновлення втрати води.

Експертна система – ще один тип інтелектуальної системи, яка використовується для керування зрошенням. По своїй суті, експертна система –

це комп'ютерна програма, яка моделює вердикт і поведінку особи чи організації, які мають досвід у певній галузі, за допомогою технологій штучного інтелекту (ШІ).

Гібридна інтелектуальна система – це інший тип інтелектуальної системи керування, в якій поєднуються принаймні два алгоритми штучного інтелекту, такі як нечітка логіка та нейронна мережа, які також відомі як «нейро-нечітка модель» [5]. Інші приклади таких гібридних інтелектуальних систем включають нечіткий PID і GAFSO. Автори у [6] використали сім різних алгоритмів машинного навчання для оцінки умов вологості ґрунту, використовуючи аерофотознімки сільськогосподарських полів для контролю зрошення. Результати продемонстрували зниження споживання води на 52% за рахунок зменшення часу, рівня зрошення та помилок розташування. Подібним чином була реалізована комбінація ШІМ, генетичного алгоритму (ГА) і байєсівської системи для прогнозування щоденного попиту на зрошення в умовах обмежених даних [7].

### 1.2.3 Аналіз відомих комерційних рішень

На сьогоднішній день на ринку присутні досить значна кількість комерційних автоматичних систем зрошення. Зокрема відомими брендами таких систем є Hunter Hydrowise, Rain Bird, Toro, Rachio, Netafim та інші.

Розглянемо детальніше відомі комерційні рішення автоматизованих систем зрошення, на прикладі систем, призначених для поливу не сільськогосподарських угідь.

Одним із популярних рішень автоматизованих систем зрошення є використання кліматичних контролерів.

Кліматичні контролери, які також називаються контролерами евапотранспірації (ЕТ), використовують місцеві погодні дані для коригування графіків зрошення (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Кліматичний контролер від Rainbird

Евапотранспірація – це поєднання випаровування з поверхні ґрунту та транспірації рослинними матеріалами. Ці кліматичні контролери збирають інформацію про місцеву погоду та вносять коригування тривалості зрошення, щоб ландшафт отримував лише необхідну кількість води. Існує три основних типи контролерів ET:

– контролери на основі сигналів використовують метеорологічні дані із загальнодоступного джерела, а значення ET розраховується для трав'яної поверхні на місці. Потім дані ET надсилаються на контролер через бездротове з'єднання;

– контролери ET на основі використання історичних даних використовують попередньо запрограмовану криву використання води, засновану на історичному використанні води в різних регіонах. Криву можна регулювати за температурою та сонячною радіацією;

– контролери погодних вимірювань на місці використовують дані про погоду, зібрані на місці, для розрахунку безперервних вимірювань ET і води відповідно.

Контролери евапотранспірації зменшують використання води поза приміщенням. Проведені дослідження показали, що залучення автоматизованих систем поливу на базі ET контролеру дозволили в середньому на 20 відсотків зменшення зрошення порівняно з будинками з плановим зрошенням домовласників. Крім того, дослідження, проведене на газоні Святого Августина, показало середню економію зрошення влітку на 43 відсотки порівняно з плановим зрошенням домовласників, без зниження якості газону. Точність контролерів евапотранспірації залежить від параметрів рівняння, заданих при прошивці програмно-технічного пристрою. Слід відзначити, що більшість контролерів евапотранспірації коштують від 250 до 900 доларів, тоді як професійні контролери ET варіюються від 900 до 2500 доларів.

Другий тип розумних контролерів зрошення включає контролери датчиків вологості ґрунту (рисунок 1.3). Замість використання даних про погоду контролери датчиків вологості ґрунту використовують датчик вологості ґрунту, розміщений під землею в кореневій зоні газонів, щоб визначити потребу у зрошенні ґрунту. Датчик вологості ґрунту оцінює об'ємний вміст води в ґрунті. Об'ємна вологоємність являє собою частину загального об'єму ґрунту, зайняту водою. Контролери можуть бути налаштовані на відкриття клапанів і початок зрошення, коли об'ємний вміст води досягне порогу, визначеного користувачем. Відповідне порогове значення залежить від типу ґрунту та рослинності та зазвичай коливається приблизно від 10 до 40 відсотків. Датчики вологості ґрунту повинні бути встановлені на типовій ділянці дерну; достатньо далеко від спринклерних головок, коріння дерев, тротуарів і стін (рисунок 1.4).

Ось деякі додаткові рекомендації для їх встановлення:

– глибина встановлення: датчики вологості краще встановлювати на різних глибинах, щоб отримати інформацію про вологість на різних рівнях ґрунту. Наприклад, їх можна встановити на глибині 10 см та 30 см;

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

– відстань між датчиками: залежно від розмірів ділянки та характеристик ґрунту, рекомендується розміщувати датчики на відстані приблизно 1-2 метри один від одного;

– уникайте перешкод: важливо уникати встановлення датчиків надто близько до спринклерних головок, коріння дерев, тротуарів або стін, щоб уникнути впливу зовнішніх факторів на вимірювання;

– захист від впливу навколишнього середовища: для забезпечення надійності та тривалості роботи датчиків вони можуть бути встановлені у спеціальних захисних контейнерах або трубках, які дозволять зберегти їх від впливу вологи, механічних пошкоджень та інших негативних чинників навколишнього середовища;

– маркування та документація: важливо чітко позначити місця встановлення датчиків на мапі ділянки та документувати цю інформацію для майбутнього використання та обслуговування.



Рисунок 1.3 – Контролер датчиків вологості ґрунту

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

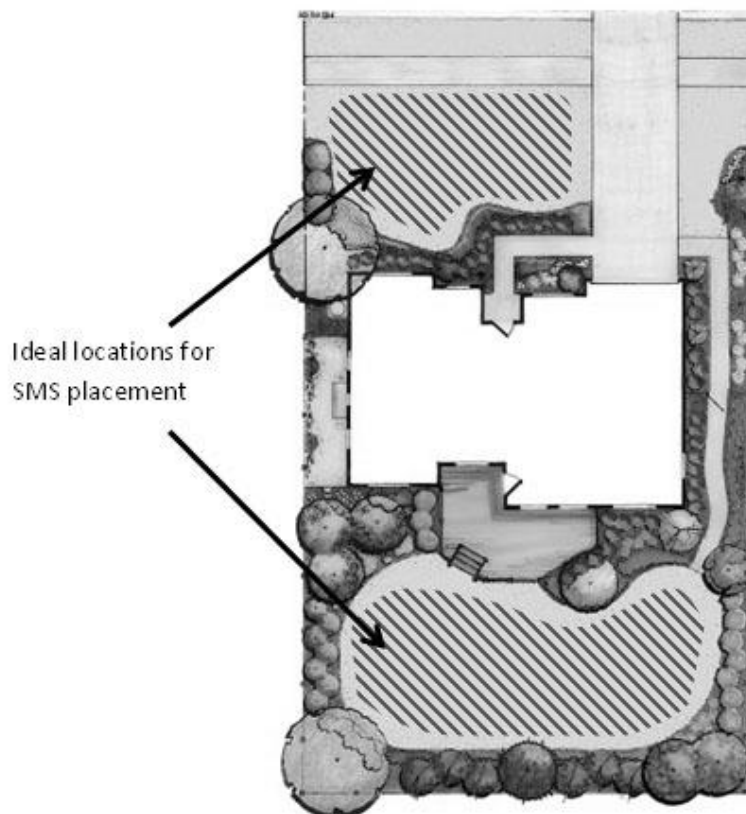


Рисунок 1.4 – Схематичне позначення найкращого місця для встановлення датчика вологості ґрунту

У багатьох випадках контролер планування зрошення вже може використовуватись, тому оновлення до розумного контролера є недоцільним. Щоб підвищити ефективність систем автоматичного поливу, можна додати датчик вологості ґрунту, дощу, вітру чи замерзання, щоб оновити існуючу систему. Деякі виробники випускають прилади, здатні вимірювати декілька елементів навколишнього середовища за допомогою одного приладу. Багато датчиків сумісні з існуючими системами, прості в установці та дають такі ж результати, як і розумні контролери зрошення. Додаткові датчики, як правило, доступніші, ніж інтелектуальні контролери зрошення, якщо припустити, що на місці вже встановлено сумісний таймер зрошення.

Датчики вологості ґрунту можна підключити до існуючого контролера зрошувальної системи. Датчик вимірює вміст вологи в ґрунті в кореневій зоні перед запланованим поливом і обходить цикл, якщо вологість ґрунту перевищує певний поріг. Доступні різні типи датчиків вологості ґрунту, і споживач повинен

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата





Рисунок 1.5 – Датчик дощу з невеликим тазом для збору опадів

На сьогоднішній день на ринку також представлені й автоматизовані зрошувальні контролери, які дозволяють створювати графіки поливу, зокрема WIFI Smart Garden Irrigation Controller (рисунок 1.6). Особливо важливою функцією, притаманною даному контролеру, є розумний контроль погоди, який автоматично адаптує розклад поливу до місцевих погодних умов. Система виконує пропуск поливу у дощові чи сніжні дні, тим самим гнучко регулюючи режим поливу для збереження водних ресурсів. Це забезпечує ефективне використання води та запобігає зайвому поливу, що може завдати шкоди рослинам. Окрім того даний контролер дозволяє працювати з Amazon Alexa та Google Assistant для керування голосом без рук.

Проте також варто відзначити досить високу вартість такого контролеру, а також те, що зазвичай такі програмно-апаратні системи вимагають досить складних процедур налаштування та встановлення, що потребують великого обсягу технічних знань або навіть професійної допомоги для належної установки та налаштування.



Рисунок 1.6 – WIFI Smart Garden Irrigation Controller

Таким чином було проведено огляд комерційних пристроїв атоматизаованого зрошення. Проведений огляд показав, що сучасні сисетми мають досить широкий спектр функціональності, проте слід відзначити їх високу вартість, відсутність відкритого прогармного забезпечення, що дозволило б переконфігурувати або переналаштувати пристрій, а також наявність досить складних процедур по налаштуванню пристрою.

### 1.3 Висновки. Постановка задачі

Тема розробки програмно-технічного засобу для моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту залишається дуже актуальною, особливо в контексті сучасних тенденцій в сільському господарстві, садівництві та ландшафтному дизайні. В першу чергу це пов'язано із збереженням водних ресурсів та підвищенням ефективності у сільському господарстві. Збереження водних

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ресурсів та оптимізація їх використання стають все більш важливими в світлі зміни клімату та зростаючих екологічних проблем. Ефективний моніторинг та управління поливом може допомогти зменшити споживання води та мінімізувати його вплив на навколишнє середовище. Окрім того, використання програмно-технічного засобу для моніторингу вологості та поливу дозволяє сільськогосподарським підприємствам, садівникам та садоводам ефективніше використовувати ресурси, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин.

Тому створення програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red є досить актуальним завданням.

Вирішення поставленого завдання передбачає виконання наступних етапів:

- 1) проведення дослідження предметної області;
- 2) здійснення аналізу відомих програмно-технічних засобів моніторингу рівня вологості та автоматизованого поливу;
- 3) складання вимог до програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та автоматизованого поливу;
- 4) розробка структури програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та автоматизованого поливу;
- 5) створення монтажною схеми;
- 6) реалізація сценаріїв моніторингу рівня вологості та автоматизованого поливу у середовищі візуалізації Node-Red;
- 7) оцінка спроектованого програмно-технічного засобу.

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЛИВУ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ESP32 ТА NODE RED

### 2.1 Вимоги до проєктованого програмно-технічного засобу

Першочерговим етапом проєктування будь-якого пристрою є складання технічного завдання та визначення вимог до системи. До них належать як функційні так і нефункційні вимоги. Функційні вимоги визначають перелік функціональності, яку повина забезпечити система, тоді як нефункційні не пов'язані з конкретними функціями, але впливають на її якість, ефективність та інші аспекти.

Сформулюємо функційні вимоги до проєктованого програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red:

1) реалізація автоматичного поливу ділянки ґрунту. Програмно-технічний засіб повинен мати можливість аналізувати вимірювані значення вологості та при необхідності активувати полив для підтримання оптимального рівня вологості в ґрунті. Аналіз вологості та полив ґрунту повинен реалізовуватись на кожній ділянці незалежно. Таким чином, реалізація даної функції дозволить активувати полив тільки на тій ділянці, на якій він потрібний, не поливаючи інші ділянки, що може бути корисним, наприклад, якщо на кожній ділянці зростають різні культури;

2) моніторинг та візуалізація вологості ґрунту на кожній із ділянок. Проєктований засіб повинен володіти функцією незалежного моніторингу значень рівня вологості ґрунту у режимі реального часу. Окрім того, потрібно зберігати історію вимірювань;

3) автономність живлення пристрою (клієнтської частини). Реалізація такої функції дозволить забезпечити живлення віж сонячних панелей, які перетворюють сонячне випромінювання на електричну енергію. Використання

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		





Здійснюється ця комунікація за допомогою текстових повідомлень, які можна залишати за спеціальними адресами, які називаються темами (topic). Кожен із клієнтів може створити топик, на оновлення в якому можуть підписатися інші клієнти. З появою нової інформації вона публікується клієнтом у топіці, і це оновлення відразу бачать всі підписані на нього. Кожен клієнт може створити довільну кількість топиків і підписатися на довільну кількість. Таким чином, можливе утворення складної перехресної структури підписок та публікації. Іншими словами, в даному випадку використовується модель публікації та підписки.

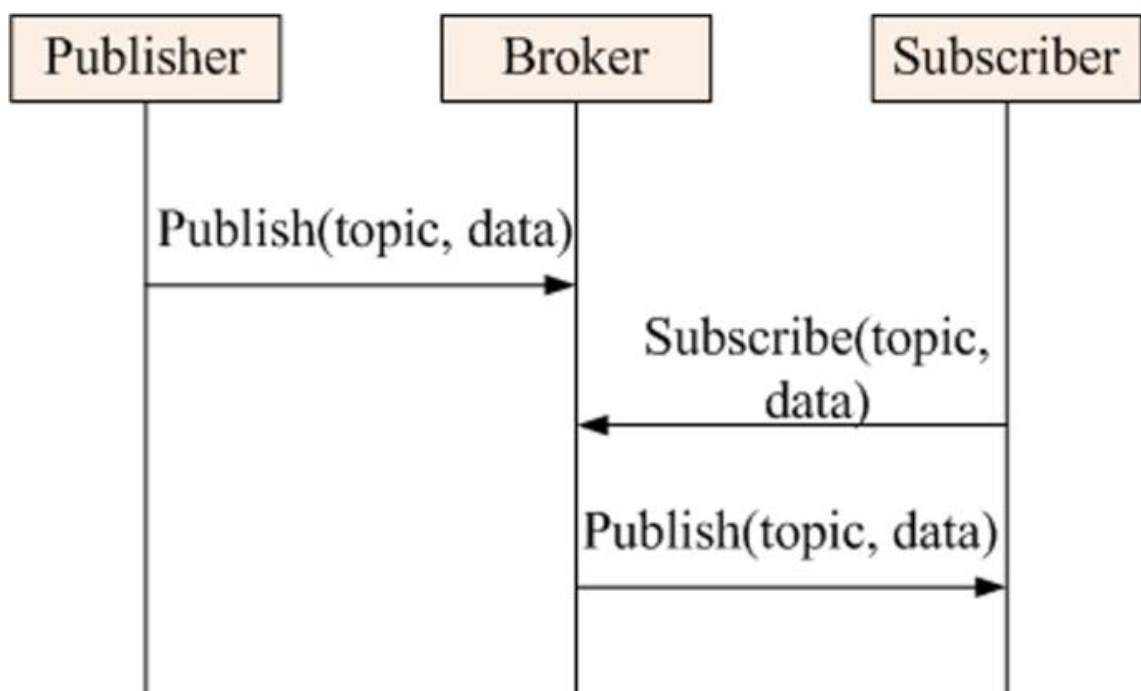


Рисунок 2.1 – Взаємодія за допомогою MQTT протоколу

Розглянемо детальніше протокол CoAP.

Даний протокол був розроблений робочою групою у 2014 році. На відміну від Mqtt, протокол CoAP призначений для безпосереднього з'єднання двох вузлів між собою, використовуючи взаємодію в рамках логіки сервер/клієнт: тут, під час взаємодії з клієнтом, сервер робить доступним свої ресурси за певною адресою, а клієнти звертаються до тієї адреси за допомогою стандартних HTTP-методів:

- GET (отримати ресурс);

- POST (створити ресурс);
- PUT (оновити ресурс);
- DELETE (Видалити ресурс).

Тому протокол відповідає моделі REST і звернення до ресурсу в рамках цього протоколу практично ніяк не відрізняється від звернення до звичайного веб-ресурсу, і клієнт може навіть не знати, що він спілкується з локальним датчиком. Іншими словами, можна назвати його спрощеною версією http.

У рамках протоколу існує чотири типи повідомлень:

- CON — таке повідомлення (запит/відповідь) вимагає повідомлення у відповідь про підтвердження;
- ACK — повідомлення у відповідь на повідомлення типу CON;
- NON — повідомлення (запит/відповідь), що не вимагає відповідного підтвердження;
- RST – скидання повідомлення (Reset). Таке повідомлення надсилається у відповідь, якщо отримана інформація частково відсутня або її неможливо прийняти. У тому числі подібні повідомлення можна використовувати для пінгування вузла, відправляючи на вузол порожнє повідомлення (empty message) типу CON.

Протокол також дозволяє об'єднання пристроїв у групи для розсилки групового повідомлення. Обмін повідомленнями між сервером та клієнтом можливий в асинхронному режимі, що суттєво прискорює роботу всієї системи. Інформація про наявні у доступі ресурси доступна клієнту у вигляді списку, включаючи метадані. Це дозволяє клієнту визначити, які ресурси є в наявності та їх формат. CoAP був спеціально розроблений для роботи з пристроями, які мають дуже обмежений обсяг ресурсів, наприклад, близько 10 КБ оперативної пам'яті та 100 КБ під прошивку.

Крім того, специфікація протоколу розрахована на досить скромні мережеві можливості, і саме тому в його рамках не реалізуються багаторівневі транспорти для передачі повідомлень. Натомість використовується протокол UDP поверх IP.





керування поливом, тоді як мікроконтролерна система ESP32 – клієнтом. Розглянемо детальніше призначення кожного компоненту системи.

Мікроконтролерна система ESP32 виступає в ролі основного польового пристрою для обробки даних до якої під'єднуються множина датчиків та водяних насосів. Спосіб під'єднання датчиків та актуаторів – провідний, тоді як для організації передачі даних на серверну частину використовується радіоканал на базі Wi-Fi. В якості протоколу прикладного рівня передачі даних використано MQTT протокол. Для живлення даної мікроконтролерної системи залучено сонячні панелі, що робить проєктований програмно-технічний пристрій автономним.

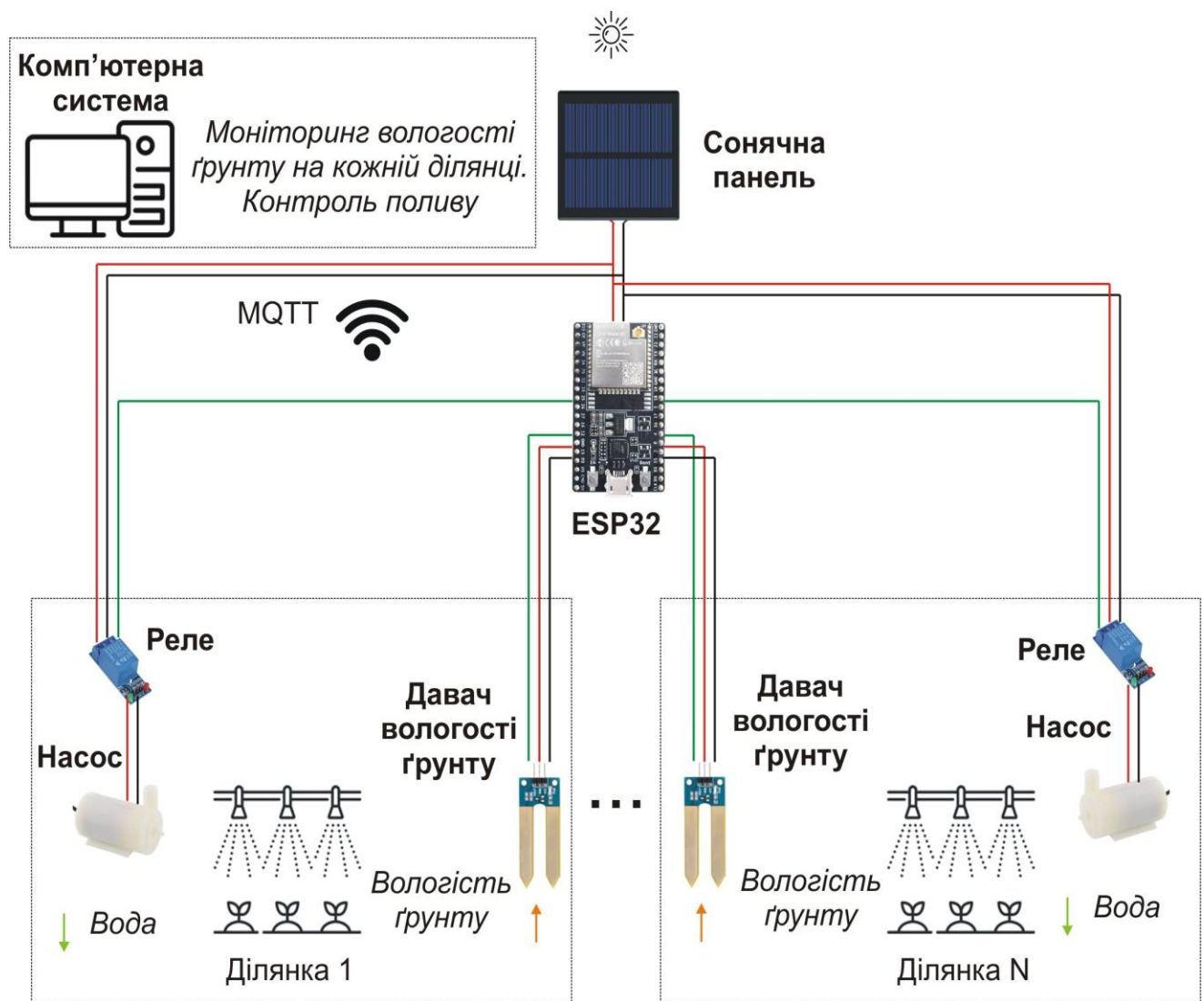


Рисунок 2.3 – Структурна схема програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Давачі вимірювання вологості ґрунту слугують для виконання замірів даного показника на кожній ділянці та відправлення цих даних до мікроконтролерної системи ESP32. Слід відзначити, що даний програмно-технічний пристрій спроектований для вимірювання вологості ґрунту із двох ділянок. Цю систему можна легко розширити, доповнивши додатковими давачами вимірювання вологості (та, за потреби, водяними помпами). У такому випадку можна додатково в пристрій включити мультиплексор, наприклад мікросхему MCP23017.

Основним актуатором даного пристрою є водяний насос, який відповідає за подачу води на польові ділянки в залежності від вимірювань вологості ґрунту та команд, отриманих від серверної системи. Під'єднання водяних pomp до мікроконтролера ESP32 здійснюється через модулі реле.

Комп'ютерна система виступає сервером даного програмно-технічного засобу та виконує основні функції керування поливом та моніторинг рівня вологості ґрунту на кожній ділянці. Для виконання даних функцій використано середовище створення сценаріїв Node red та брокер mosquitto. Перелік тем, що використовують для обміну даними між компонентами програмного-технічного засобу моніторингу вологості ґрунту наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Теми MQTT та їх опис, що використовують для обміну даними між компонентами програмного-технічного засобу моніторингу вологості ґрунту

Тема	Повідомлення	Опис
1	2	3
"/watering/getMoisture"	"get-data"	ESP32 здійснює підписку на тему, якщо отримує повідомлення "get-data", здійснюється вимірювання даних із давачів вологості. Повідомлення із результатом надсилається у тему "/watering/moisture".



Таким чином визначені компоненти та здійснено опис функціонування проєктованого програмного-технічного засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red.

## 2.4 Аналіз обраних рішень

Після проєктування структури та визначення принципів функціонування програмно-технічного засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node, наступним етапом є порівняльний аналіз та вибір апаратного та програмного забезпечення, які будуть використані в представленому засобі.

### 2.4.1 Аналіз апаратних рішень

У складі проєктованого програмно-технічного засіб задіяно наступні компоненти:

- мікроконтролерна система ESP32;
- давач вимірювання вологості ґрунту;
- водяний насос;
- модуль реле;
- контролер сонячних панелей;
- сонячні панелі;
- акумуляторна батарея.

Головним апаратним компонентом, що функціонує як концентратор для збору даних та відправлення команд є мікроконтролерна система ESP32 (система на кристалі).

ESP32 – це мікроконтролерна система, що базується на чіпі ESP32 від компанії Espressif Systems. Вона володіє широким спектром можливостей і часто використовується в проєктах Інтернету речей (IoT), робототехніці, автоматизації та інших сферах. ESP32 має вбудовану підтримку Wi-Fi і Bluetooth, що дозволяє

					КвРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

йому з'єднуватися з бездротовими мережами та пристроями. Крім того, він має багато виводів GPIO (загального призначення), які можуть використовуватися для підключення до різноманітних датчиків, актуаторів та інших електронних пристроїв. ESP32 також підтримує різноманітні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART, що робить його досить гнучким для різноманітних застосувань. Призначення контактів та геометричні розміри мікроконтролерної плати ESP32 WROOM-32D наведено на рисунку 2.4.

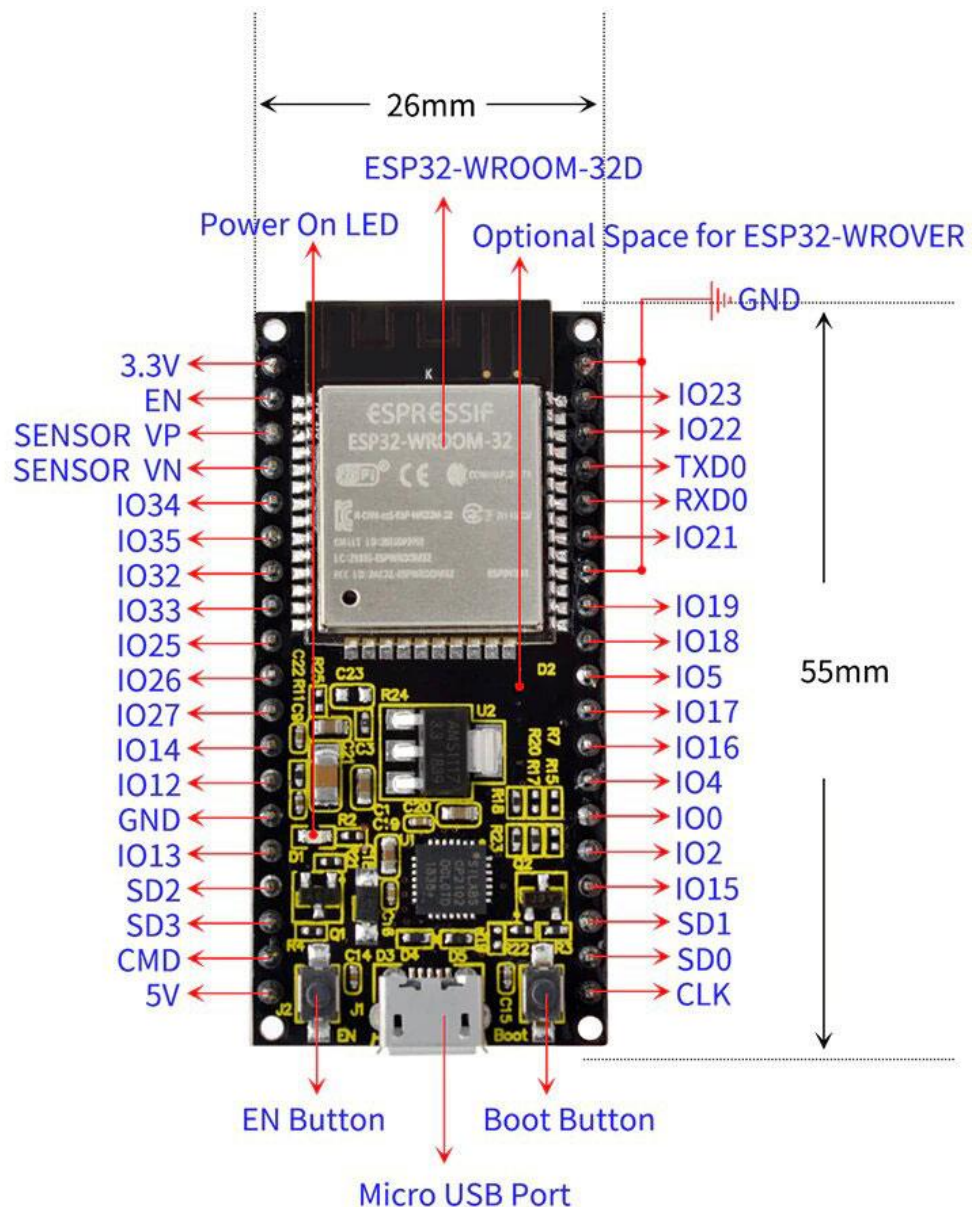


Рисунок 2.4 – Призначення контактів та геометричні розміри мікроконтролерної плати ESP32 WROOM-32D

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Технічні параметри мікроконтролерної плати ESP32 WROOM-32D:

- двоядерний 32-розрядний процесор Xtensa LX6 160-240МГц;
- WiFi 802.11n 2.4Гц швидкість 150Мбіт / сек;
- Bluetooth v4.2 BR / EDR and BLE;
- WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / Wi-Fi Protected Setup (WPS);
- об'єм флеш пам'яті: 4Мб;
- наявність 12 бітного АЦП;
- 10 портів в режимі сенсорних кнопок;
- Вбудований температурний датчик;
- 4 x SPI;
- наявність 8 бітного ЦАП;
- 2 x IS1;
- 1 slave (SDIO / SPI);
- 2 x I2C;
- 3 x UART;
- 1 host (SD / eMMC / SDIO);
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support;
- CAN 2.0;
- наявність Motor PWM;
- IR (TX / RX);
- IEEE 802.11 standard security features all supported, including WPA, WPA / WPA2 and WAPI;
- LED PWM до 16 каналів;
- функція Secure boot;
- Flash шифрування;
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers;
- підтримка AES;
- підтримка HASH (SHA-2) library;
- підтримка RSA;



напруги 12 В/24 В, а також оснащений захистом від короткого замикання, перевантаження та невірної полярності. Даний контролер сумісний із всіма типами літій-іонних, свинцево-кислотних, а також літій-полімерних батарей.

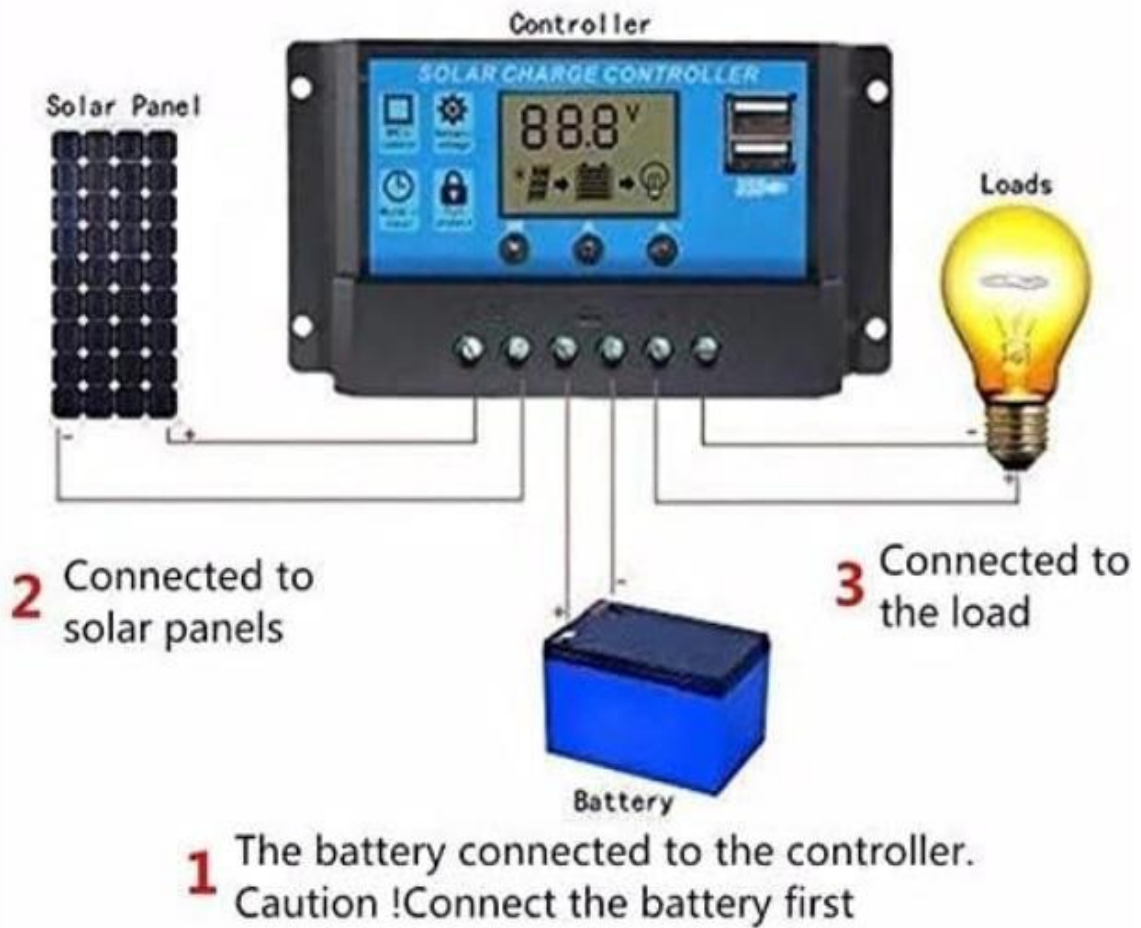


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення підключення компонентів до контролера NEO Tools

Сонячні панелі генерують електричну енергію в залежності від наявності сонячного світла, але цей процес може бути нерівномірним через зміни в погодних умовах. Тому у даному проєкті додано акумулятор. Акумулятор забезпечує зберігання надлишкової енергії, що виробляється сонячними панелями у періоди, коли споживання енергії низьке. Для даного проєкту було обрано гелевий акумулятор LPM-GL на 12V - 7 Ah (рисунок 2.7).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Дозволяє перекачувати рідину із досить високою швидкістю до 120 літрів на годину. Використовуючи цей насос спільно із різними датчиками можна створити систему автоматичного поливу та підтримки життєдіяльності рослин. Може використовуватися у гідропоніці та аквапоніці. Особливістю даного водяного насосу є його мала напруга живлення (2.5-6 В), що дозволяє організувати живлення даного насосу від сонячних батарей.

Даний насос володіє наступними характеристиками:

- потужність: 0.4 - 1.5 Вт;
- напруга живлення: 2,5 – 6 В;
- максимальна висота водяного стовпа: 0.4 – 1.1 м.
- швидкість перекачування рідини: до 2 л/хв;
- матеріал корпусу: пластик.



Рисунок 2.8 – Водяний насос

В якості давача вимірювання вологості ґрунту було використано ємінсний давач DFROBOT SEN0193 (рисунок 2.9). Даний давач використовує мікросхему таймера 555 і працюють шляхом вимірювання того, як швидко (або повільно) конденсатор заряджається через резистор. Слід відзначити, що у даному давачу конденсатор не є звичайним електро-радіо компонентом, а утворений двома трасами друкованої плати, розташованими поруч одна з одною. Їхня ємність й,

отже, швидкість заряджання змінюються відповідно до кількості води навколо них.



Рисунок 2.9 – Ємнісний давач вимірювання вологості ґрунту

Давач містить вбудований регулятор напруги на 3,3 В, що робить його придатним для мікроконтролерів із живленням 3,3 В та 5 В. Окрім того, даний давач споживає менше 5 мА струму. У міру зволоження ґрунту вихідна потужність зменшується, а в міру висихання – навпаки збільшується. При живленні 5 В вихідна напруга коливається в діапазоні від 1,5 В (для вологого ґрунту) до 3 В (для сухого ґрунту). Проте варто відмітити, на кінцеве вихідне значення впливає глибина введення зонда та ступінь щільності ґрунту навколо нього.

Щоб зрозуміти, як працює ємнісний датчик вологості ґрунту, потрібно спочатку зрозуміти поведінку конденсатора в RC-схемі, яку наведено на рисунку 2.10.

У простій схемі RC, коли до входу подається позитивна напруга, конденсатор (C) починає заряджатися через резистор (R). При цьому змінюється напруга на конденсаторі. З часом напруга конденсатора зростає до рівня вхідної напруги.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

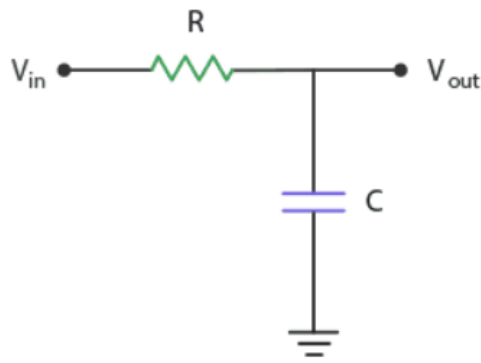


Рисунок 2.10 – RC-коло

Час, необхідний для повного заряджання конденсатора, залежить від величини резистора та конденсатора. Якщо зберегти  $R$  постійним і використати два різних значення ємності для конденсатора  $C$ , можна помітити, що конденсатор з більшою ємністю вимагає більше часу для заряджання, тоді як конденсатор з меншою ємністю вимагає менше часу для заряджання.

У даному давачі, конденсатор  $C$  на платі датчика – це не буквальный компонент, а просто дві мідні лінії, які діють як конденсатори. Цей ефект, відомий як паразитна ємність, часто виникає в ланцюгах і зазвичай незначний. Однак, навмисно зробивши два мідні сліди більшими, ми можемо використати цей ефект у своїх інтересах.

Ємність цього паразитного конденсатора визначається формою слідів і навколишнім середовищем, що технічно відома як діелектрична проникність. Коли датчик вставляється у ґрунт, середовище навколо конденсатора змінюється залежно від того, як ґрунт стає вологішим чи сухішим. Це змінює його ємність і, як наслідок, впливає на час зарядки. Коли ґрунт сухий, конденсатор має меншу ємність і тому швидко заряджається. І навпаки, коли ґрунт вологий, конденсатор має більшу ємність і тому заряджається повільніше.

#### 2.4.2 Аналіз програмних рішень

Програмною частиною проєктованого програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red є

середовище візуалізації сценаріїв Node red та брокер mosquitto. Обидва програмні компоненти встановлені на комп'ютерній системі, що функціонує як серверна частина.

Node-RED – це візуальний інструмент для програмування потоків даних, розроблений на базі відкритого програмного забезпечення та доступний для широкого кола платформ, включаючи IoT (інтернет речей). Він надає користувачам можливість створювати потоки даних, які включають в себе різноманітні дії та операції, використовуючи візуальний інтерфейс.

Основні концепції Node-RED включають вузли, які представляють функції або операції, і зв'язки між цими вузлами, які визначають потік даних. Кожен вузол виконує конкретну дію на даних, що пройшли через нього, і може бути налаштований за допомогою візуального інтерфейсу. Node-RED має широкий набір вбудованих вузлів для різноманітних завдань, таких як робота з мережевими протоколами, обробка даних, взаємодія з базами даних, а також можливість розширення за допомогою сторонніх модулів (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Типовий процес роботи із Node red

Node-RED особливо популярний у сферах IoT та автоматизації, де він може використовуватися для збору, обробки та візуалізації даних з різних джерел, таких як датчики, пристрої зв'язку та системи управління. Його гнучка архітектура дозволяє легко і швидко розгорнути складні потоки даних і реагувати на змінні умови в середовищі IoT.



брокера передачі повідомлень. В даному проєкті обрано open-source брокер Mosquitto.

Mosquitto дозволяє підключати різноманітні пристрої, датчики та програми до брокера MQTT, щоб вони могли обмінюватися даними за допомогою цього протоколу. Він надає простий спосіб налаштування та керування комунікаціями між цими пристроями.

## 2.5 Висновки

В даному розділі проведено визначення вимог, яким повинен задовольняти проєктований програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red. Зокрема необхідними вимогами були визначені: реалізація автоматичного поливу ділянки ґрунту, моніторинг та візуалізація вологості ґрунту на кожній із ділянок, автономність живлення пристрою (клієнтської частини), легкість масштабування та зручний інтерфейс. Подальше проєктування проєктування здійснювалось виходячи із встановлених вимог. Запропоновано структурну схему програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red та проведено огляд апаратних та програмних складових, необхідних для функціонування програмно-технічного засобу.

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЛИВУ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ESP32 ТА NODE RED

3.1 Встановлення на комп'ютерній системі середовища візуалізації сценаріїв Node-RED та брокера mosquitto

З метою виконання функцій моніторингу та контролю рівня вологості ґрунту проєктований програмно-технічний засіб здійснює комунікацію із комп'ютерною системою (може бути представлена як стаціонарним комп'ютером так й ноутбуком), що працює як серверна частина, тобто очікує запити від мікроконтролера та формує відповіді у формі керуючих впливів. Комунікація між комп'ютерною системою та ESP32 здійснюється через мережу Wi-Fi за допомогою протоколу MQTT. В якості MQTT брокера використано mosquitto. Для встановлення брокера mosquitto було виконано наступні кроки:

1. завантаження із офіційного сайту <https://mosquitto.org/download/> встановлювального файлу;

2. встановлення брокера;

3. запуск брокера Mosquitto. Для запуску брокера із стандартними налаштуваннями у командному рядку PowerShell було введено команду:

```
mosquitto
```

4. перевірка роботи брокера. Для цього було відкрито два термінали і за допомогою двох утиліт командного рядка mosquitto\_sub та mosquitto\_pub виконано перевірку роботи брокера:

Для публікації повідомлення "hello world" у тему "test1":

```
mosquitto_pub -h localhost -t test1 -m "hello world"
```

Для підписки на тему " test1 ":

```
mosquitto_sub -h localhost -t test1
```

Також було встановлено середовище візуалізації сценаріїв Node red. Для цього спочатку було виконано встановлення платформи node.js. Далі встановлено

безпосередньо Node red. Для запуску сервера було виконано в командному рядку наступну команду:

```
node-red
```

Створення сценаріїв здійснювалось у браузері за адресою localhost:1880. Перед початком роботи було проведено встановлення додаткових вузлів для формування інформаційної панелі (Chart, Slider, Form, Gauge, Switch, Text, тощо). Встановлення виконано через пакетний менеджер npm:

```
npm i node-red-dashboard
```

### 3.2 Монтажна схема програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

З метою реалізації функцій моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту реалізовано програмно-технічний засіб із залученням мікроконтролерної системи ESP32 та середовища візуалізації сценаріїв Node red. До складу спроектованого програмно-технічного засобу входять наступні апаратні компоненти: мікроконтролерна система ESP-WROOM-32 ESP32, ємнісний давач вимірювання вологості ґрунту HiLetgo 5pcs, одноканальний модуль реле srd-12vdc, водяний насос 12 В, контролер сонячної панелі NEO Tools 10 А, 12/24 В, полікристалічна сонячна панель 10Вт, 12В та акумулятор гелевий LPM-GL 12V - 7 Ah. Слід відзначити, що до складу даного програмно-технічного пристрою не включено систему поливу у вигляді множини водяних труб та системи розпилення, оскільки даний проєкт реалізовано у вигляді прототипу.

Монтажну схему програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red подано на рисунку 3.1. Монтажна схема є планом або діаграмою, яка показує розташування компонентів, їх зв'язків та взаємозв'язки на платі, платформі або в пристрої. Вона використовується для візуалізації та планування процесу монтажу

електронних компонентів, з'єднань та проводки на друкованій платі або іншому основі.

Для простування монтажної плати було використано систему автоматизованого проектування Fritzing. За допомогою даного програмного забезпечення можна здійснити проектування монтажних плат (PCB), перетворити електричну схему в макет монтажної плати, розмістити компоненти на платі, провести маршрутизацію (розведення) доріжок і створити готовий дизайн для виробництва плати.

Для початку було винесено на робочу область Fritzing всі необхідні компоненти, а також макетну плату (breadboard) через яку було реалізовано загальні шини землі та живлення (VCC та GND). Ключовою особливістю проєктованого програмно-технічного засобу є його автономність живлення. З цією метою у склад пристрою додано контролер сонячної панелі на 12/24 В. Даний контролер має шість виходів, до яких під'єднуються сонячна панель, акумулятор, а також навантаження. В даній схемі контакти контролера 1 та 2 під'єднані до сонячної панелі, контакти 3 та 4 до батареї. В якості навантаження залучено водяний насос 12 В, підключення якого здійснено через модуль реле. Таким чином вихід vcc контролера сонячної панелі під'єднано до контакту com реле, а вихід насоса до виходу модуля реле NO (normaly open). Керуючий сигнал для реле під'єднано до виходу ESP32 GPIO 13. Живлення та заземлення модуля реле заведено до загальної шини на макетній платі. Давач вимірювання вологості ґрунту під'єднано до до виходу ESP32 GPIO 5. Живлення та заземлення даного давача також виведено у загальну шину на макетній платі. Слід відзначити, що спроектований програмно-технічний засіб може бути легко масштабований, шляхом додавання давачів вимірювання вологості ґрунту та водяних насосів

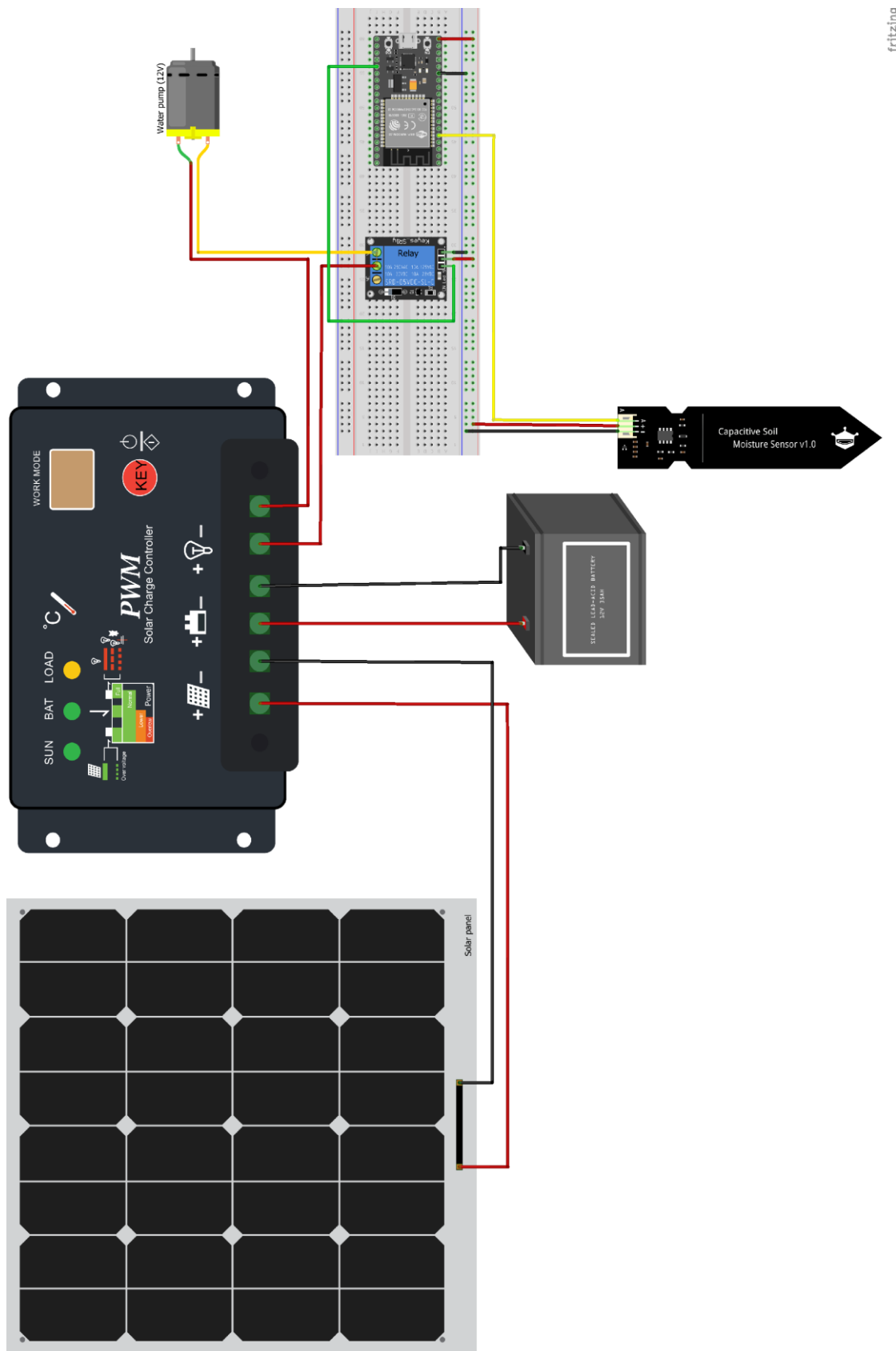


Рисунок 3.1 – Монтажна схема програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ

Арк.  
46

### 3.3 Схема електрична принципова

Схема електрична принципова (ЕП) – це вид електричної схеми виробу, що дає найповніше уявлення про склад і принцип його роботи. Схема електрична принципова містить умовні графічні позначення та зображення елементів електричного кола, показує зв'язки між елементами електричного кола, проте вона не враховує габаритних розмірів і реального розташування деталей об'єкта. Основним призначенням таких схем є: розробки та проектування електронних пристроїв, виготовлення та монтажу електронних пристроїв, налагодження та ремонту електронних пристроїв, а також вивчення принципів роботи електронних пристроїв.

У приведеному програмно-технічному засобі використано наступні компоненти: датчик вологості ґрунту – використовується для вимірювання рівня вологості ґрунту, мікроконтролерна система ESP32 – виконує обробку даних із датчика вологості, керує модулем реле, а також зв'язується із Node-RED, модуль реле – використовується для керування насосом поливу, джерело живлення – використовується для живлення мікроконтролера ESP32, модуля реле та насосу. Слід відзначити, що за допомогою сонячних панелей здійснюється живлення водяного насоса та мікроконтролера ESP32 (живлення ESP32 здійснюється за допомогою USB кабелю (не схемі не показано). З метою накопичення енергії, коли сонячні панелі не використовуються або відсутнє достатня кількість сонячного світла, залучено контролер сонячних панелей. Окрім того даний контролер використовується також для випрямлення та стабілізації напруги, а також для моніторингу поточного стану заряду батареї. Схему електричну принципову програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі мікроконтролера ESP32 та Node red приведено на рисунку 3.2.

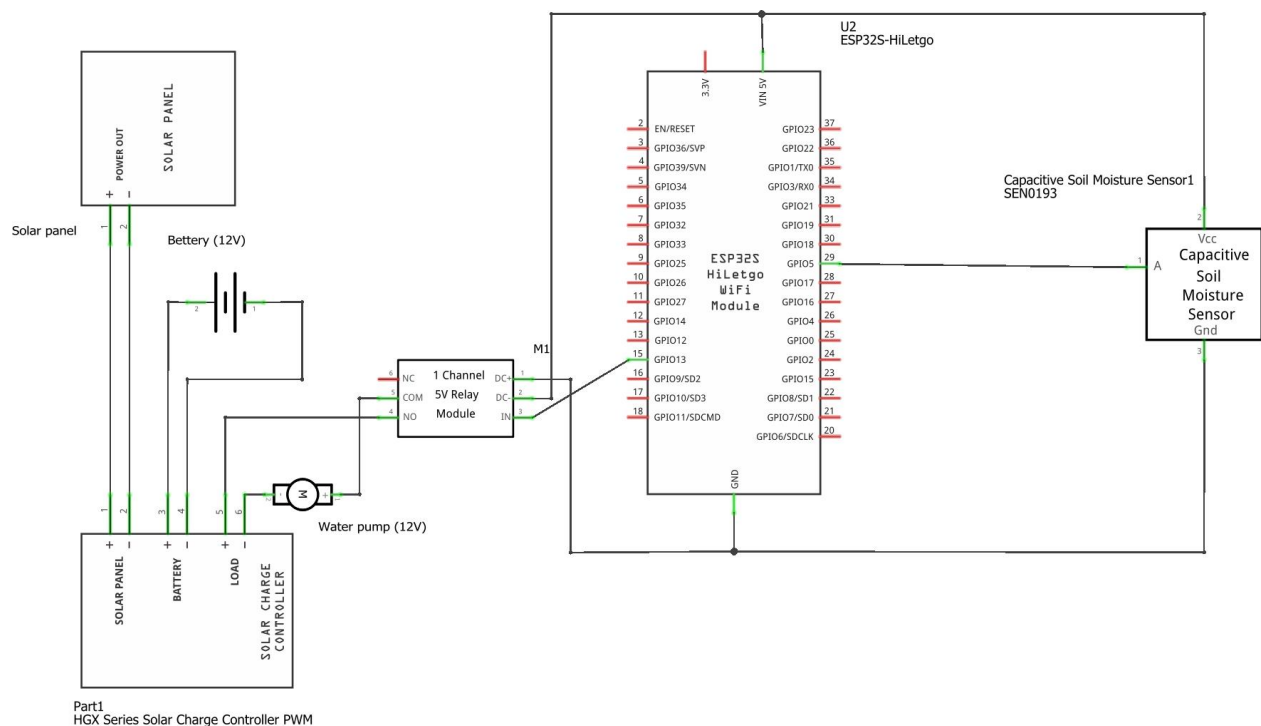


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова проектованої системи

### 3.4 Реалізація функцій моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту у Node red

Проектований програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі мікроконтролера ESP32 та Node red передбачає реалізацію двох основних функцій: керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторинг й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок. Обидві зазначені функції покладені на сервер, що представлений комп'ютерною системою, на якій встановлено середовище створення сценаріїв та керування потоками Node red. Розглянемо детальніше реалізацію кожної функції за допомогою сценаріїв у середовищі Node red.

#### 3.4.1 Функція керування поливом на основі рівня вологості ґрунту

В основі функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту закладено процес отримання даних від ESP32 про рівень вологості ґрунту та відправлення керуючих повідомлень до ESP32, що сигналізують про необхідність

увімкнення відповідних насосів. З цією метою у сценарії керування поливом на основі рівня вологості ґрунту присутні три вузла для роботи із MQTT протоколом: два для публікації повідомлень і один – для підписки. Таким чином сценарій у Node red здійснює підписку на тему /watering/moisture та виконує публікацію у теми /watering/irrigation та /watering/getMoisture. Виконуючи підписку на /watering/moisture сценарій отримує дані про рівень вологості ґрунту від давачів. Формат повідомлення виглядає наступним чином:

“value\_1 value\_2 ... value\_n”

де value\_i – числове значення рівня вологості ґрунту

Таким чином у такому форматі повідомлення містить значення про рівень вологості ґрунту від всіх давачів, що розділені одним пропуском. Така нотація повідомлень дозволяє в подальшому досить легко виконати парсинг повідомлення та розділити його на масив числових значень через метод slice.

Інші дві теми слугують для надсилання повідомлень до мікроконтролера ESP32. Зокрема, у тему /watering/irrigation здійснюється публікація повідомлення із номером того давача вимірювання вологості ґрунту (наприклад, “sensor2”), для якого зафіксовано перевищення рівня вологості, що встановлюється пороговим значенням.

Для надсилання повідомлення до ESP2 про опитування давачів рівня вологості ґрунту використовується тема /watering/getMoisture. Для цієї теми у проєктованому програмно-технічному пристрою визначено одне повідомлення – “get-data”. Отримання такого повідомлення на стороні мікроконтролера ESP32 означатиме сформувати сигнал для відповідного виходу, що дозволить виміряти значення рівня вологості ґрунту.

У всіх вузлах для роботи із MQTT протоколом в якості сервера визначено ту саму адресу, що й адреса комп’ютерної системи – localhost та стандартний протокол для роботи із MQTT протоколом 1883.

Окрім вузлів для роботи із протоколом MQTT додано вузол function із назвою Check Moisture Level.

```

let message = msg.payload;
let valuesArray = message.split(' ');
let scaledValues = [];

valuesArray.forEach(value => {
  let parsedValue = parseInt(value);
  let scaledValue = Math.round(parsedValue / 1023 * 100);
  scaledValues.push(scaledValue);
});

// Формуємо об'єкт з округленими значеннями
let res = {};
for (let i = 0; i < scaledValues.length; i++) {
  res["sensor" + (i + 1)] = scaledValues[i];
}
msg.payload = res;

let exceededSensors = [];
for (let i = 0; i < scaledValues.length; i++) {
  if (scaledValues[i] > 55) {
    exceededSensors.push("sensor" + (i + 1));
  }
}

if (exceededSensors.length > 0) {
  // Якщо є сенсори, що перевищують 55, відправляємо їх значення зі
затримкою
  let delayTime = 0;
  exceededSensors.forEach(sensor => {
    setTimeout(() => {

```

```

// Встановлюємо топик і повідомлення для відправки
msg.topic = "/watering/irrigation";
msg.payload = sensor;

// Відправляємо дані через вихідний потік
node.send(msg);
}, delayTime);
delayTime += 1000; // Додаємо затримку для наступного сенсора
});
}
return null;

```

Дана функція передбачає обробку повідомлень від теми /watering/moisture, які надходять в потік у форматі рядка, що містить значення, розділені пробілами. За допомогою цього коду кожне значення обробляється, перетворюється в числовий тип, масштабується та перевіряється на перевищення деякої межі.

Слід відзначити, що у даній функції здійснюється нормалізація значень рівня вологості ґрунту до діапазону 0-100. Максимальне значення рівня вологості для давача вимірювання вологості ґрунту FC-28 складає 1023, тоді як мінімальне 0. Проміжні значення діапазонів відповідають наступним характеристикам вологості ґрунту:

- значення від 0 до 370 – давач занурений у воду (нормалізований діапазон 0-35);
- значення від 371 до 600 – вологий ґрунт (нормалізований діапазон 36-59);
- значення від 6001 до 1023 – сухий ґрунт (нормалізований діапазон 60-100).

У приведеному вище коді вузла Check Moisture Level порогове значення рівня при якому здійснюється генерація повідомлення про необхідність подиву складає 55. За необхідності це значення може бути зміненим на інше.

Також варто відзначити, що відправлення повідомлень у тему /watering/irrigation здійснюється за допомогою функції setTimeout. Функція



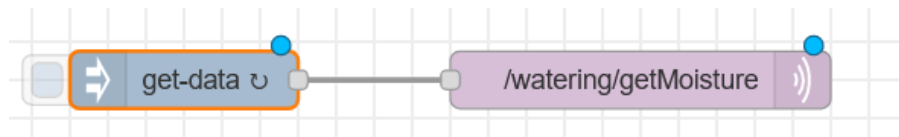


Рисунок 3.4 – Фрагмент сценарію, що реалізує відправлення повідомлення-запиту про необхідність вимірювання значення рівня вологості

### 3.4.2 Функція моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок

Важливою складовою будь-якої системи моніторингу є власне реалізація процесу відображення та контролю даних, отриманих із зовнішнього середовища. Тому у проєктованому програмно-технічному пристрою реалізовано функцію моніторингу й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок. Візуалізацію даних реалізовано у вигляді інформаційної панелі – дашборту.

Інформаційна панель програмно-технічного засобу представлена трьома віджетами, а саме графіком, gauge віджетом та текстом (рисунок 3.5).

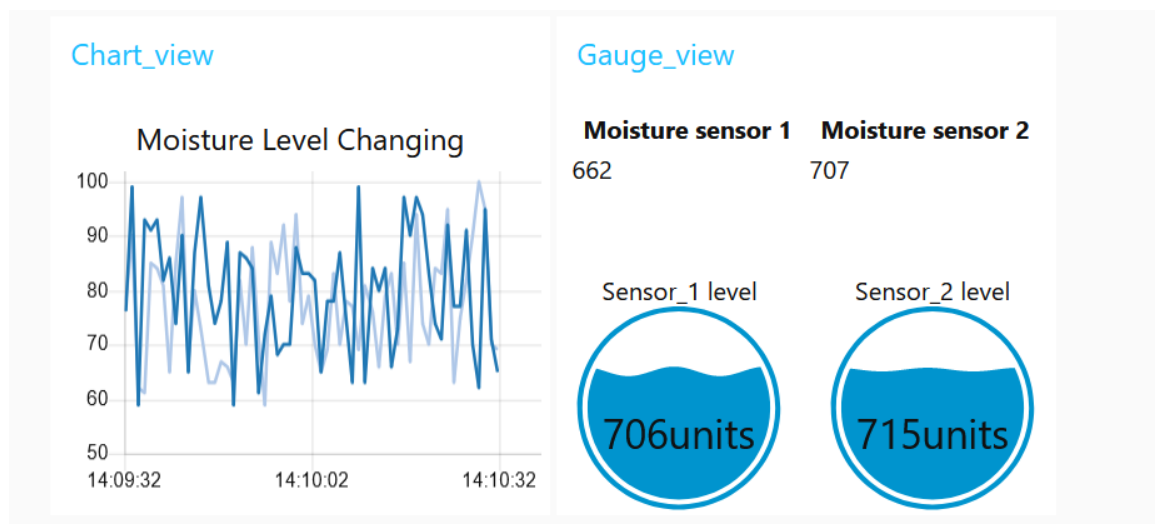


Рисунок 3.5 – Інформаційна панель для моніторингу й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок

Основним віджетом розробленої інформаційної панелі є графік (chart). Даний віджет використовується для динамічного відображення рівня вологості

грунту (рисунок 3.6). Тестування спроектованого прогармно-технічного пристрою проводилось для двох давачів, хоча система легко може бути масштабована до моніторингу більшої кількості ділянок ґрунту, кожна із яких, представлена своїм давачем.

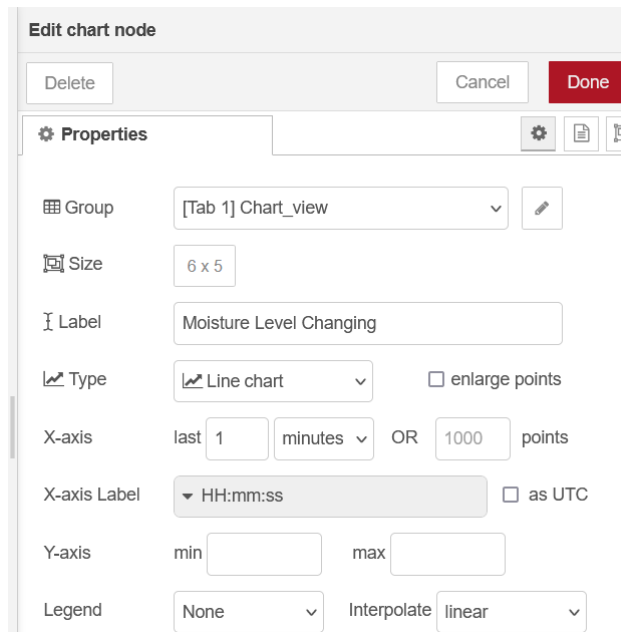


Рисунок 3.6 – Властивості вузла chart

Текстовий віджет та віджети gauge використовуються для відображення поточного рівня вологості ґрунту на кожній із ділянок. Для віджета gauge обрано тип value.

Реалізація цієї функції передбачала додавання відповідних віджетів: template, chart та двох gauge віджетів. З метою відображення даних у вигляді графіку було додано вузол function із назвою Charting data.

Функціонування цього вузла передбачало обробку рядка, що надходить у полі "msg.payload", що представлено даними із теми /watering/moisture. Спочатку рядок розбивався на окремі значення за допомогою пробілів, та потім кожне з цих значень перетворювалось на ціле число. Кожне оброблене значення масштабувалось та округлювалось, а потім ці значення записувались у відповідні об'єкти "msg" та "msg1" разом з темою:

```
let message = msg.payload;
```

```

let valuesArray = message.split(' ');
let scaledValues = [];
valuesArray.forEach(value => {
    let parsedValue = parseInt(value); // Парсимо рядок у число
    let scaledValue = Math.round(parsedValue / 1023 * 100); // Округляємо
число
    scaledValues.push(scaledValue); // Додаємо округлене значення до масиву
scaledValues
});
var msg = {};
var msg1 = {};
msg.payload = parseInt(scaledValues[0]);
msg.topic = 'Line1';
msg1.payload = parseInt(scaledValues[1]);
msg1.topic = 'Line2';
return [msg, msg1];

```

Для відображення кожного окремого значення у вигляді віджета gauge було додано ще один вузол function із назвою Parse data to each gauge:

```

let res = msg.payload.split(' ');
let msg1 = {};
let msg2 = {};
msg1.payload = parseInt(res[0]);
msg2.payload = parseInt(res[1]);
return [msg1, msg2];

```

Його завдання є схожим до блоку Charting data. Відмінність між цими вузлами полягає у тому, що у блоці Parse data to each gauge відсутня додаткова інформація про тему, оскільки для віджета gauge це не потрібно.

Таким чином реалізація функції моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок представлена у вигляді потоку, що наведений на рисунку 3.7.

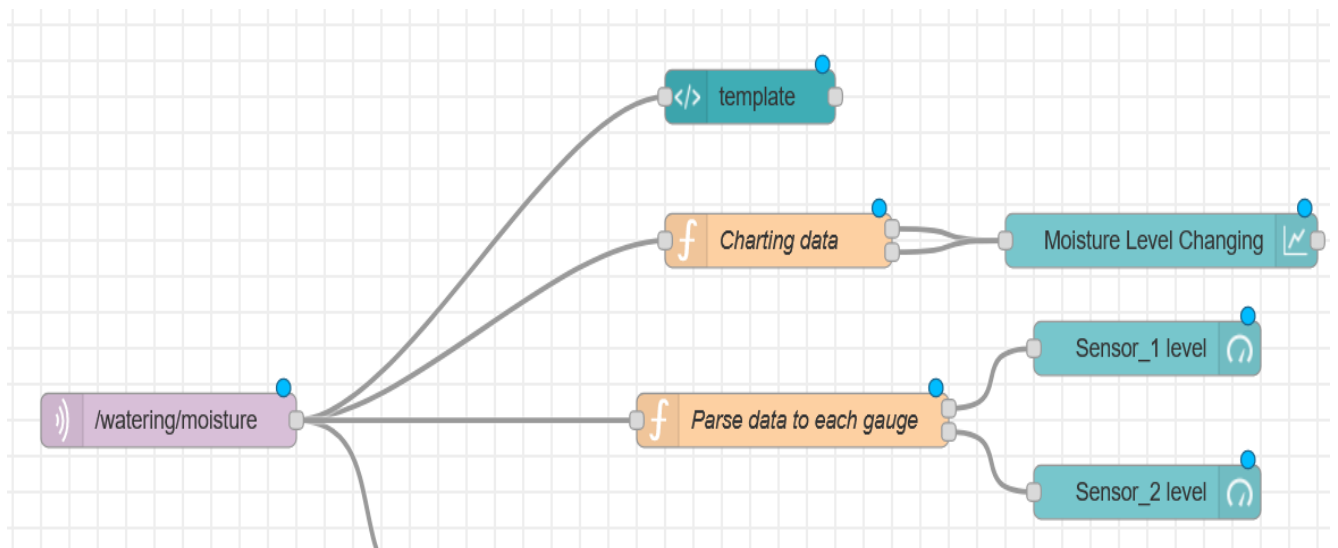


Рисунок 3.7 – Сценарій потоку моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок

З метою створення тестових даних було додано вузол function із назвою Test data generation. Генеровані дані відповідали шаблону повідомлень, які надходили із теми /watering/moisture. Реалізація такої функціональності дозволило протестувати та відлагодити потоки керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок. Також окрім блоку Test data generation додано блок Inject, що налаштований на відправку повідомлення із інтервалом 1 сек.

Таким чином результуючий потік, що реалізує функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок наведено на рисунку 3.8.

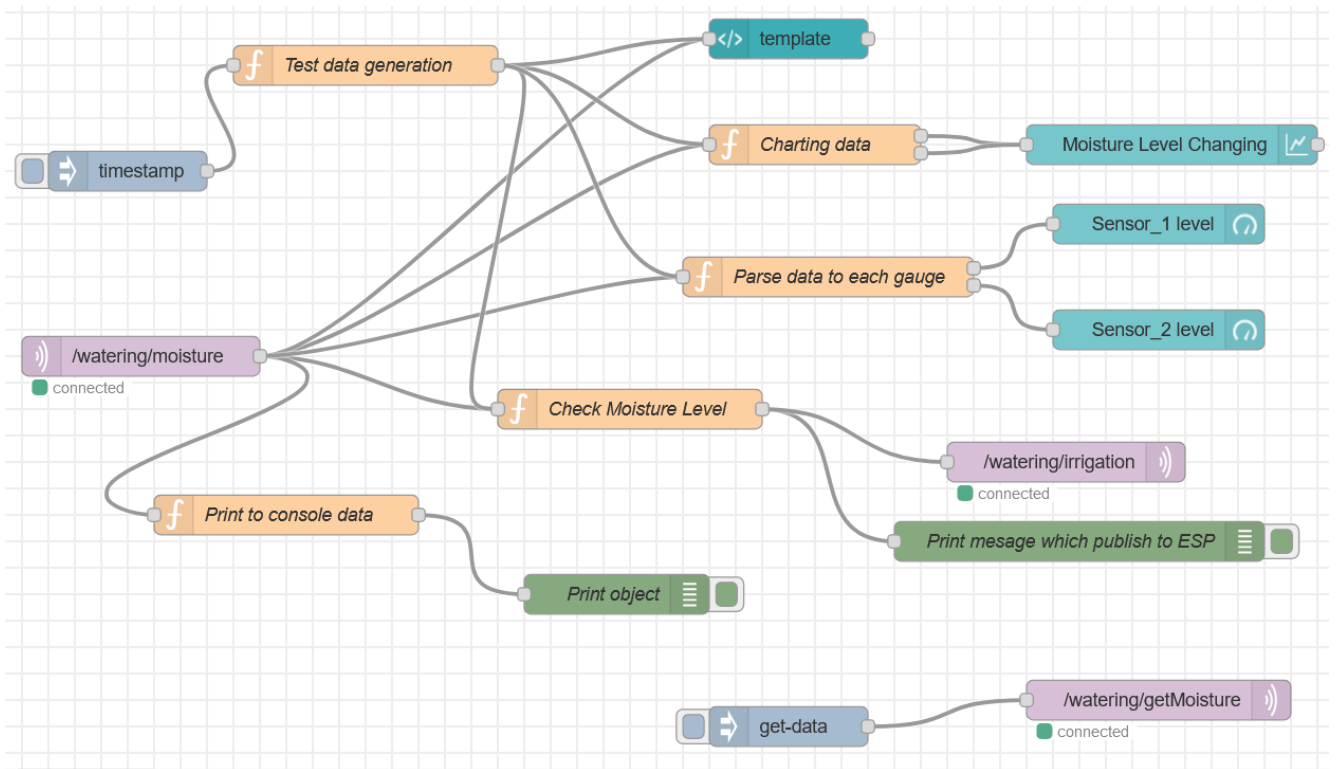


Рисунок 3.8 – Результуючий потік, що реалізує функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторингу й візуалізації даних вологості ґрунту на кожній із ділянок

Для тестування реалізованого сценарію було використано утиліти командного рядка `mosquitto_pub` та `mosquitto_sub`. Спочатку виконаємо публікацію повідомлення “400 600” у тему `/watering/moisture`, що симулює отримання даних від двох датчиків вимірювання вологості ґрунту (рисунок 3.9).

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_pub -t /watering/moisture -m "400 600"
```

Рисунок 3.9 – Публікація на тему `/watering/moisture`

Оскільки значень порогу встановлено на рівні 55, то значення вологості ґрунту, що отримані від другого датчика, то у тему `/watering/irrigation` має бути надіслано повідомлення “sensor2” (рисунок 3.10). Такі дані свідчать про необхідність поливу ділянки ґрунту, на які встановлено датчик 2.

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_sub -t "/watering/irrigation" sensor2
```

Рисунок 3.10 – Підписка на тему /watering/irrigation

Для відлагодження сценарію було виведено значення рівня вологості у консоль у вигляді об'єкта, який містить властивості із назвою датчика, для якого слід виконати полив ґрунту (рисунок 3.11).

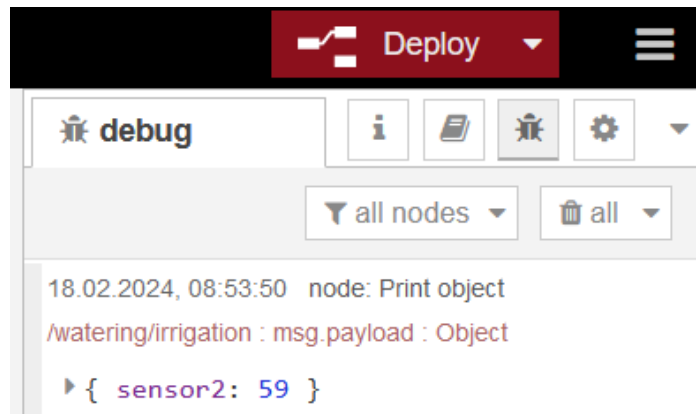


Рисунок 3.11 – Відображення даних, що надійшли у тему /watering/moisture

### 3.5 Висновки

В даному розділі представлено макетну схему та схему електричну принципову спроектованого програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі мікроконтролера ESP32 та Node red. Запропоновано у вигляді сценарію Node red реалізацію функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторинг й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок.

## ВИСНОВКИ

Зі зростанням кількості населення та швидким розвитком урбанізації стає ще більш актуальним питання ефективного використання водних ресурсів та підвищення врожайності сільськогосподарських культур. На сьогоднішній день вода стала одним з найбільш дефіцитних ресурсів, а її ефективне використання стало надзвичайно важливим завданням для забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку. Ефективне зрошення та полив сільськогосподарських культур може бути досягнуто шляхом впровадження автоматизованих систем поливу, які базуються на передових технологіях управління водними ресурсами. Ці системи включають в себе сучасні методи збору та аналізу даних, такі як сенсори вологості ґрунту, метеостанції та системи інтелектуального аналізу даних, що дозволяють точно регулювати обсяги поливу в залежності від фактичних потреб рослин та умов навколишнього середовища.

За результатами виконання даного проєкту було спроектовано та реалізовано прототип програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі мікроконтролера ESP32 та Node red. Даний програмно-технічний засіб реалізує функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторинг й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок. Окрім того, особливістю даного засобу є його автономність та, за потреби, легкість масштабування. Автономність функціонування спроектованого програмно-технічного засобу забезпечується живленням компонентів системи від сонячних панелей.

У першому розділі розглянуто загальні засади функціонування автоматизованих систем зрошення та принципи функціонування “розумних” та автоматизованих систем поливу. Проаналізовано відомі комерційні програмно-технічні засоби зрошення, а також розглянуто відомі напрямки залучення методів штучного інтелекту в системах зрошення.

В другому розділі проведено визначення вимог, яким повинен задовольняти проєктований програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red. Зокрема необхідними вимогами були визначені: реалізація автоматичного поливу ділянки ґрунту, моніторинг та візуалізація вологості ґрунту на кожній із ділянок, автономність живлення пристрою (клієнтської частини), легкість масштабування та зручний інтерфейс. Подальше проектування здійснювалось виходячи із встановлених вимог. Запропоновано структурну схему програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red та проведено огляд апаратних та програмних складових, необхідних для функціонування програмно-технічного засобу.

В третьому розділі представлено макетну схему та схему електричну принципову спроектованого програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі мікроконтролера ESP32 та Node red. Запропоновано у вигляді сценаріїв Node red реалізацію функції керування поливом на основі рівня вологості ґрунту та моніторинг й візуалізацію даних вологості ґрунту на кожній із ділянок.

Напрямами подальшого вдосконалення спроектованого програмно-технічного засобу є додаткова реалізація функцій віддаленого керування, а також автоматичне сповіщення через смс, пошту чи соціальну мережу (наприклад telegram).

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Hasan M.F., Haque M.M., Khan M.R., Ruhi R.I., Charkabarty A. Implementation of fuzzy logic in autonomous irrigation system for efficient use of water. In *Proceedings of the 2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition*, Kitakyushu, Japan, 25–29 June 2018, p. 234–238.
2. Adeyemi O., Grove I., Peets S., Norton T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 2017, 9, 353 p.
3. Mendes W.R., Araujo F.M.U., Dutta R., Heeren D.M., Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Syst. Appl.* 2019, 124, p. 13–24.
4. Mousa A.K., Crook M.S., Abdullah M.N. Fuzzy based decision support model for irrigation system management. *Int. J. Comput. Appl.* 2014, 104, p. 14–20.
5. Adeyemi O., Grove I., Peets S., Domun Y., Norton T. Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. *Sensors* 2018, 18, 3408
6. Tsang S.W., Jim C.Y. Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation. *Energy Build.* 2016, 127, p. 360–369.
7. Perea R.G., Poyato E.C., Montesinos P., Díaz J.A.R. Optimisation of water demand forecasting by artificial intelligence with short data sets. *Biosyst. Eng.* 2019, 177, p. 59–66.
8. Arduino ua, Модуль із динаміком активний (buzzer), URL: <https://arduino.ua/ru/prod490-modyl-s-dinamikom-buzzer> (дата звернення 20.04.2024)
9. Karpagam G.R., Kumar B.V., Maheswari J.U., Gao X.-Z. Smart Cyber Physical Systems Chapman and Hall, CRC, 2020, 294 p.
10. Фурман І.О., Староверов Р.М., Мельський Д.О. Огляд можливостей «розумного будинку» для покращання побутових умов та зменшення витрат на

					КВРІСТ. 200117.20.01.15 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

утримання домогосподарств. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2014. No 2. С. 79-80.

11. Sheth M., Trivedi A., Suchak K., Parmar K. and Jetpariya D., Inventive Fire Detection utilizing Raspberry Pi for New Age Home of Smart Cities, *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2020, p. 724-728, DOI: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214108.

12. Mat M. R., MohdKassim A. N., Harun and I. M. Yusoff, "Smart agriculture using internet of things", *2018 IEEE Conf. Open Syst. ICOS 2018*, p. 54-59, 2019.

13. Na A. and Isaac W., Developing a human-centric agricultural model in the IoT environment, *2016 International Conference on the Internet of Things and Applications (IOTA) Maharashtra Institute of Technology*, 22 Jan - 24 Jan 2016.

14. Saleem Y., Crespi N., Rehmani H., Copeland R., Hussein D. and Bertin E., Exploitation of social IoT for recommendation services, *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, p. 359-364.

15. Bangera T., Chauhan A., Dedhia H., Godambe R. and Mishra M., IOT based smart village, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 32, no. 6, Feb. 2016

16. Gondchwar N. and Kawitkar R.S., IOT based smart agriculture, *International Journal Of Advanced Research in computer and Communication Engineering(IJARCCE)*, vol. 5, no. 6, Jun. 2016.

17. Masaba K., Ntakirutimana A. and Ustun T.S., Design and Implementation of a Smart Irrigation System for Improved Water-Energy Efficiency, *4th IET Clean Energy Technol. Conf. (CEAT2016)*, 2016.

18. Putjaika N., Phusae S., Chen-Im A., Phond Phun-chongharnand and Khajonpong Akkarajit Sakul, Acontrolsysteminintelligentagriculturebyusingarduinotechnology, *Fifth ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, 2016.

19. Singh N. J. and Sidhu E., Raspberry pi based smart fire management system employing sensor based automatic water sprinkler, *2017 International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, 2017, p. 102-106.

20. Suakanto S., Ventje J.L. Engel, Hutagalung M. and Angela D., Sensor networks data acquisition and task management for decision support of smart agriculture, *2016 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI) Bandung – Bali*, p. 24-27, Oct.2016.

21. Chetan Dwarkani M, Ganesh Ram R., Jagannathan S. and Priyatharshini R., *Smart agriculture system using sensors for ag.*

22. Khelifa B., Amel D., Amel B., Mohamed C. and Tarek B., Smart irrigation using internet of things, *2015 4th Int. Conf. Futur. Gener. Commun. Technol. FGCT2015*, p. 91-96, 2015.

23. Masaba K., Ntakirutimana A. and Ustun T. S., Design and Implementation of a Smart Irrigation System for Improved Water-Energy Efficiency, *4th IET Clean Energy Technol. Conf. (CEAT 2016)*.

24. Khelifa B., Amel D., Amel B., Mohamed C. and Tarek B., Smart irrigation using internet of things, *2015 4th Int. Conf. Futur. Gener. Commun. Technol. FGCT 2015 no. Fgct*, p. 91-96, 2015.

25. Sahu T., Automated Smart Irrigation System using Raspberry Pi, vol. 172, no. 6, p. 9-14, 2017.

26. Naga V., Micro-controller based automatic plant irrigation system, *International Journal of Advancement in Research and Technology*, vol. 2, no. 4, p. 194-198, April 2013.

27. Bhaskar L., Koli B., Kumar P. and Gaur V., Automatic Crop Irrigation System, *IEEE Conference Publications*, 2015.

28. Дужак І.О. Розумний будинок. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2013. № 13(13–14). С. 31-33.

29. Arduinogetstarted, Arduino automatic irrigation system URL: [https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-automatic-irrigation-system#google\\_vignett](https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-automatic-irrigation-system#google_vignett) (дата звернення 20.04.2024).

30. Rahim Khan, Ali Ihsan, Muhammad Zakarya, Mushtaq Ahmad, Muhammad Imran and Muhammad Shoaib, "Technology-Assisted Decision Support

System for Efficient Water Utilization: A Real-Time Testbed for Irrigation Using Wireless Sensor Networks", *IEEE Access*, p. 1-5, 2018.

31. Madhu Kumari and Anant Kumar Sah, "IoT Enabled Smart Irrigation System Monitoring and Water Harvesting in Different Soils", *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT)*, vol. 10, no. 03, March 2021.

32. Rajalakshmi P. and S. Devi Mahalakshmi, IOT based crop-field monitoring and irrigation automation, *2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). IEEE*, 2016.

33. Bersani C., C. Ruggiero, R. Sacile, A. Soussi and E. Zero, Internet of Things Approaches for Monitoring and Control of Smart Greenhouses in Industry 4.0, *Energies*, vol. 15, no. 3834, 2022.

34. Chlingaryan A., Salah Sukkarieh and Brett Whelan, Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 151, p. 61-69, 2018.

35. Alphonse A. Sherly et al., IoT and SVM-based Smart Irrigation System for Sustainable Water Usage", *2022 International Conference on Innovative Computing Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES). IEEE*, 2022.

36. Raghuvanshi A. et al., Intrusion detection using machine learning for risk mitigation in IoT-enabled smart irrigation in smart farming, *Journal of Food Quality*, p. 1-8, 2022.

37. Pavel M. I., Kamruzzaman S. M., Hasan S. S. and Sabuj S. R., An IoT Based Plant Health Monitoring System Implementing Image Processing, *2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, p. 299-303, 2019.

38. Abraham Sudharson Ponraj and T. Vigneswaran, Daily evapotranspiration prediction using gradient boost regression model for irrigation planning, *The Journal of Supercomputing*, vol. 76, p. 5732-5744, 2020.



49. Sheth M., Trivedi A., Suchak K., Parmar K. and Jetpariya D., Inventive Fire Detection utilizing Raspberry Pi for New Age Home of Smart Cities, *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2020, p. 724-728, DOI: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214108.

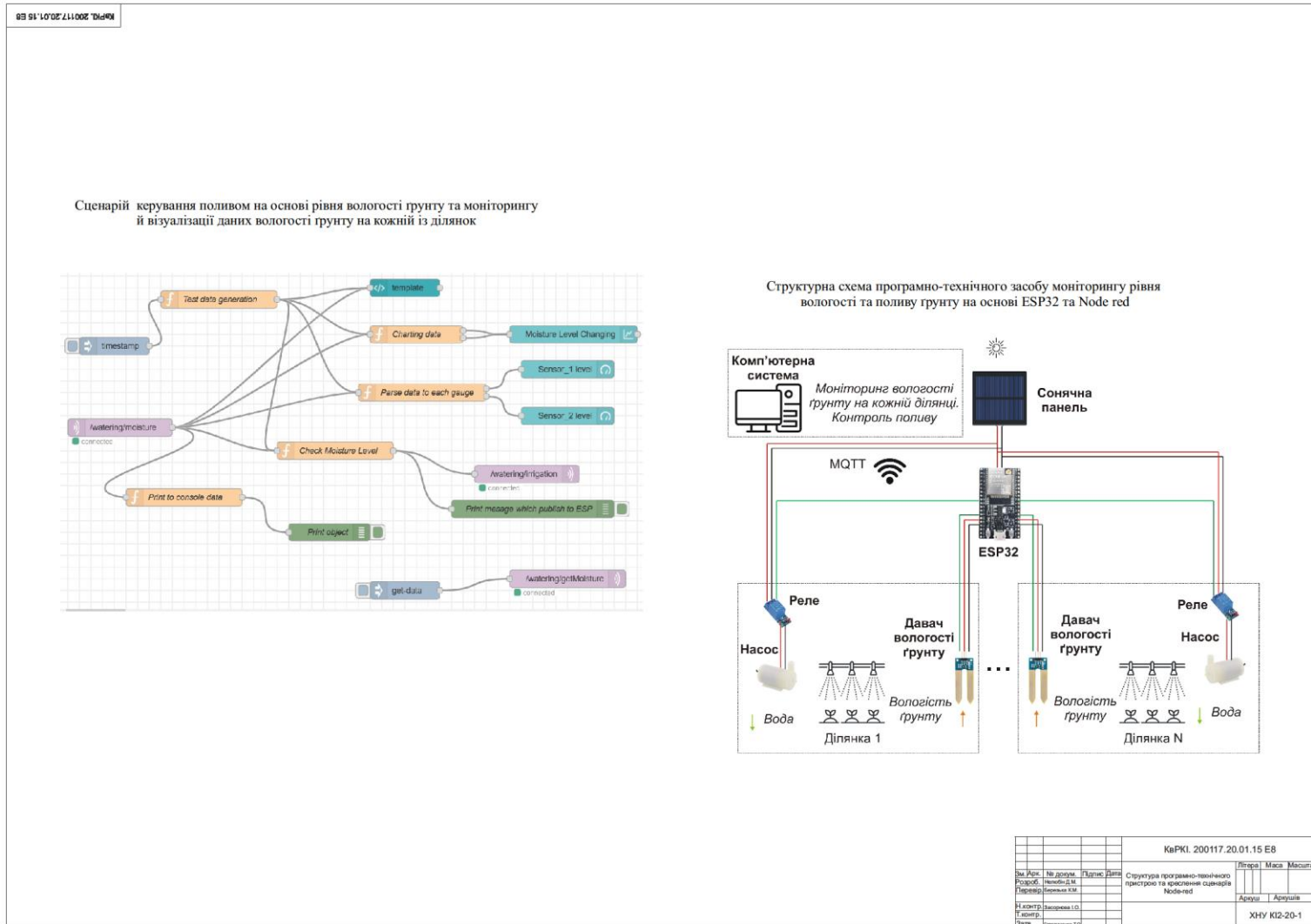
50. Alphonse, A. Sherly et al., "IoT and SVM-based Smart Irrigation System for Sustainable Water Usage", *2022 International Conference on Innovative Computing Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES). IEEE*, 2022.

51. Khelifa B., Amel D., Amel B., Mohamed C. and Tarek B., Smart irrigation using internet of things, *2015 4th Int. Conf. Futur. Gener. Commun. Technol. FGCT2015*, p. 91-96, 2015.

52. Gondchwar N. and Kawitkar R.S., IOT based smart agriculture, *International Journal Of Advanced Research in computer and Communication Engineering(IJARCCE)*, vol. 5, no. 6, Jun. 2016.

## ДОДАТОК А

Копія креслення «Структура програмно-технічного пристрою та креслення сценаріїв у Node-red»







Wed May 08 07:36:51 EEST 2024, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%**

**Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 12%**

ID: 125828 Назва: БКР Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red Додано в БД: 2024-05-08 Автора: Д.М. Нелюбін Керівники: К.М. Березька Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	78881	611	2037 (3%)	21 (3%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1016235965

Дата перевірки:  
08.05.2024 08:31:17 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
08.05.2024 08:34:43 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Нелюбін\_Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на осно...  
Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 11273 Кількість символів: 86668 Розмір файлу: 4.67 MB ID файлу: 1016017460

## 13.1% Схожість

Найбільша схожість: 2.58% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1014517653)

12.9% Джерела з Інтернету 657 ..... Сторінка 67

3.39% Джерела з Бібліотеки 75 ..... Сторінка 73

## 0.03% Цитат

Цитати 1 ..... Сторінка 74

Не знайдено жодних посилань

## 1.35% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

1.35% Вилучення з Інтернету 230 ..... Сторінка 75

Немає вилучених бібліотечних джерел

## Модифікації

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

Замінені символи 2

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Нелюбін Дмитро Миколайович

Тема: Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 3; кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню \_\_\_\_\_  
Дипломний проект відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз відомих засобів та рішень автоматизованого поливу. У другому розділі здійснено проектування програмно-технічного засобу моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red. У третьому розділі реалізовано програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

4. Позитивні сторони роботи: \_\_\_\_\_  
Спроєковано програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

5. Негативні сторони роботи: \_\_\_\_\_  
У роботі не обґрунтовано вибір типу сонячних панелей.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

пояснювальна записка та листи креслення виконані згідно діючих вимог

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на високому рівні.

8. Інші зауваження: —

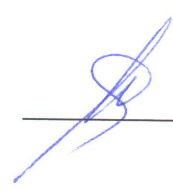
9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно» 4,75 (А)

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

Яшишвілі О.М., доцент кафедри ІТБ (ХУНУ)

“ 12 ” 06 2024р.



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

Нелюбіна Дмитра Миколайовича

---

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-20-1

### 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.

8 травня 2024 року



---

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

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

Назва: Програмно-технічний засіб моніторингу рівня вологості та поливу ґрунту на основі ESP32 та Node red

Автор: Нелюбін Дмитро Миколайович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Березька Катерина Миколаївна, к.т.н, доцент

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 укриття 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) запозичення розміщені в розділі аналізу існуючих аналогів та відомих рішень, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) перелік використаних джерел кваліфікаційної роботи розпізнано як плагіат


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості Unichack, складає 13.1% і адресується до 695 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

К.М. Березька

С. М. Лисенко

Т. О. Говорушенко