

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення та дослідження автоматизованої системи керування процесом  
забору води з використанням технологій IoT

Виконав: студент

VI курсу, групи КТм-61

спеціальності

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Кондратюк С.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Голотенко О.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Марущак П.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2024

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)  
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Микитишин А.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
«    »                      2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(шифр і назва спеціальності)  
Студенту Кондратюку Сергію Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення та дослідження автоматизованої системи керування процесом забору води з використанням технологій ІоТ

Керівник роботи Голотенко Олександр Сергійович, к. т. н., доцент, доцент кафедри КТ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» жовтня 2024 року № 4/7-1030

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо площі зелених насаджень, котрі будуть забезпечуватися поливом з автоматизованим забором води

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ  
Аналітична частина  
Технологічна частина  
Конструкторська частина  
Науково-дослідна частина  
Спеціальна частина  
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях  
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Титульний слайд  
Актуальність роботи  
Завдання роботи  
Основна частина  
Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                                         | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата      |                     |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|                                                |                                           | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
| Спеціальна частина                             | доц. Золотий Р.З.                         |                   |                     |
| Охорона праці та<br>безпека в надзв. ситуаціях | доц. Тотосько О.В.                        |                   |                     |

7. Дата видачі завдання 14 жовтня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Кондратюк С.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Голотенко О.С.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить 11 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 79 друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано 31 літературне джерело.

В роботі розроблено та досліджено автоматизовану систему керування процесом забору води з використанням технологій IoT.

Головною метою стало розроблення та створення системи автоматичного водозабору та зрошення для промислових і приватних теплиць, яка зможе повністю задовольнити потреби користувачів.

Базуючись на отриманій інформації та поставлених цілях, була спроектована структурна схема пристрою. Також було обрано компоненти для складання прототипу системи автоматичного зрошення рослин.

Детально проаналізовано кожен елемент, що використовувався в проєкті. Крім того, розглянуто програмне забезпечення для написання коду проєкту, а також програму для моделювання роботи системи зрошення рослин.

Розроблено програмне забезпечення для проєкту, проведено моделювання та перевірку її роботи. Після отримання позитивних результатів було створено готову систему автоматичного зрошення рослин.

Представлено робочий прототип, який у майбутньому зможе спростити процес вирощування рослин і підвищити рівень автоматизації в галузі сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ARDUINO, ДВИГУН, КЕРУВАННЯ, АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, ДАТЧИК.

## ЗМІСТ

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП .....</b>                                                                               | <b>5</b>  |
| <b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                               | <b>7</b>  |
| 1.1 Пристрій автоматичного поливу виробництва <i>Aqualin</i> .....                               | 8         |
| 1.2 Система крапельного зрошення <i>Rain-Bird</i> .....                                          | 10        |
| 1.3 Пристрій для поливу рослин <i>Rachio 3</i> .....                                             | 11        |
| 1.4 Система керування поливом <i>Gardena 6030 Classic</i> .....                                  | 13        |
| 1.5 Система автоматичного зрошення <i>Kärcher Rain System</i> .....                              | 14        |
| <b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                              | <b>16</b> |
| 2.1. Мікроконтролер. ....                                                                        | 16        |
| 2.1.1 Платформа <i>Arduino</i> .....                                                             | 18        |
| 2.1.2 Різновиди плат <i>Arduino</i> . ....                                                       | 19        |
| 2.2 Плата керування двигунами .....                                                              | 25        |
| 2.3 Двигун для поливу та забору води .....                                                       | 27        |
| 2.4 Датчик для визначення вологості ґрунту .....                                                 | 28        |
| 2.5 Пристрій для визначення вологості повітря і температури <i>DHT11</i> .....                   | 28        |
| 2.6 Модуль для створення віддаленого доступу до систем автономного водозабору для зрошення ..... | 30        |
| 2.7 Датчик температури <i>DS18B20</i> .....                                                      | 32        |
| <b>3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....</b>                                                            | <b>33</b> |
| 3.1 Організація енергонезалежності проекрованої системи .....                                    | 33        |
| 3.2 Модуль годинника реального часу <i>DS3231</i> .....                                          | 36        |
| 3.3 Реалізація підігріву ґрунту. ....                                                            | 38        |
| 3.4 Програмне забезпечення для проекту автоматичного забору води та зрошування. ....             | 40        |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.1 Програмне забезпечення <i>Arduino IDE</i> .....                                              | 41 |
| 3.4.2 <i>Tinkercad</i> : інструмент для тривимірного моделювання та прототипування .....           | 42 |
| 3.5 Розробка структурної схеми проекрованої системи водозабору та зрошення....                     | 43 |
| <b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....                                                            | 46 |
| 4.1 Розробка принципової схеми пристрою .....                                                      | 46 |
| <b>5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....                                                                  | 49 |
| 5.1 Компоненти для проєкту системи автоматичного забору води та зрошення .....                     | 49 |
| 5.2 Створення макету системи автоматичного забору води та зрошення.....                            | 50 |
| 5.2.1 Створення макету системи автоматичного забору води та зрошення.....                          | 50 |
| 5.2.2 Підключення окремих датчиків до контролера <i>Arduino UNO</i> .....                          | 52 |
| 5.2 Моделювання системи автоматичного забору води та зрошення в програмі<br><i>Tinkercad</i> ..... | 58 |
| <b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....                                   | 66 |
| 6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням .....                               | 66 |
| 6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт .....                                                   | 67 |
| 6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування<br>електроустаткування.....  | 69 |
| 6.4 Розрахунок захисного заземлення .....                                                          | 70 |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....                                                                              | 76 |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....                                                                      | 77 |

## ВСТУП

У сучасному світі, котрий стрімко розвивається, щодня відбуваються нові наукові та технічні відкриття, спрямовані на покращення рівня життя людини та автоматизацію процесів у різних сферах діяльності [1]. Наразі існує чимало пристроїв і приладів, які спрощують життя як на роботі, так і вдома, а також допомагають економити час і гроші. Серед таких пристроїв: автоматичні роботи-порохотяги, мультиварки, кліматичні системи, розумні домашні системи комфорту та безпеки, різноманітні гаджети, котрі люди можуть носити з собою і слідувати за своєю активністю і здоров'ям, автопілоти в літаках та на автомобілях [2]. На робочому місці автоматизація процесів є одним із головних критеріїв підвищення ефективності праці та виробництва.

Економіка багатьох країн залежить від сільського господарства, яке забезпечує продовольчу безпеку та економічну стабільність країни. Воно відіграє ключову роль у забезпеченні населення продуктами харчування, створенні робочих місць та розвитку сільських територій. Сільське господарство також сприяє збереженню традицій та культурних особливостей, підтримує біорізноманіття і є важливим чинником сталого розвитку. Завдяки ефективному управлінню та інноваційним технологіям, цей сектор може значно підвищити свою продуктивність і стійкість до змін клімату та інших викликів сучасності [3].

У цьому дослідженні важливо зосередитися на таких ключових аспектах, як забезпечення належної кількості електроенергії, водопостачання та оптимального графіку поливу сільськогосподарських культур. Фермери стикаються з труднощами у досягненні цих стандартів, особливо ті, хто тільки розпочинає свою діяльність і не має достатнього фінансового забезпечення. Сьогодні, коли практично кожен має портативний пристрій у вигляді смартфона, можна дистанційно керувати та вносити зміни в роботу системи автоматичного зрошення рослин [4]. Це дозволяє зменшити

кількість працівників, які обслуговують промислові теплиці, підвищити контроль якості, знизити споживання води та електроенергії, а також мінімізувати ручне втручання в автоматичну систему поливу. Усі ці особливості роблять такі дослідження необхідними для підвищення ефективності сільськогосподарства та зменшення людської праці.

Кількість населення Землі постійно зростає [5], і кожна людина потребує продуктів харчування. Для забезпечення людства продуктами харчування існують ферми з вирощування тварин, а також промислові теплиці для отримання сільськогосподарських рослин. У сфері рослинництва задіяна значна частина працездатного населення України, а вартість валової сільськогосподарської продукції є надзвичайно високою. Тому було прийнято рішення провести аналіз існуючого ринку систем поливу, зібрати інформацію з цієї тематики та розробити нову систему автоматичного поливу з додатковими функціями, яка повністю задовольнить користувачів. Необхідно розвивати цей напрямок за допомогою систем автоматизації та забезпечувати повний догляд за рослинами, що й стало актуальною метою цієї магістерської дисертації.

Дана магістерська робота присвячена розробці автоматичної системи забору води, котра забезпечить якісний полив рослин: дозволить аналізувати та своєчасно здійснювати полив, забезпечить автоматизований забір води в ємність, функцію підігріву ґрунту, автоматичне налаштування під різні види сільськогосподарських культур, опалення приміщення, додаткове освітлення рослин, а також провітрювання приміщення, будучи автономним пристроєм.

Під час виконання цієї магістерської роботи було розроблено принципову схему пристрою, написано програмний алгоритм роботи в середовищі Arduino IDE, змодельовано проект у програмі Tinkercad, виготовлено прототип системи автоматичного керування забором води і поливу на базі контролера Arduino UNO з можливістю віддаленого доступу через мережу Інтернет.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

У сучасному світі існує безліч пристроїв і технічних засобів, що покращують життя людини як вдома, так і на роботі [6]. Одним із таких пристроїв є система автоматичного поливу. На ринку представлено чимало готових систем автоматичного зрошення.

Стан тепличних рослин значною мірою залежить від своєчасного поливу та догляду. Сучасній людині, яка не має достатніх знань у догляді за сільськогосподарськими рослинами або часто відсутня вдома, важко забезпечити належний догляд, що може призвести до загибелі рослин. Тому важливо використовувати пристрої, здатні повністю піклуватися про рослини за відсутності людини.

Під час виконання цієї роботи було проведено аналіз існуючих на ринку систем автоматичного поливу рослин. Аналіз проводився за такими критеріями:

- зручність експлуатації;
- якість;
- економічність;
- вартість;
- можливість підключення через Bluetooth, Wi-Fi, Internet.

Для об'єктивної оцінки було обрано пристрої з різних категорій.

Згідно з дослідженням, на українському ринку автоматичного поливу лідерами є дві американські компанії Hunter та Rain Bird, які орієнтовані або на великі сільськогосподарські поля, або на галявини з газоном [7]. До того ж, ціна на ці системи досить висока.

Перед вибором системи автоматичного поливу слід врахувати кілька чинників, зокрема характеристики ділянки, потреби рослин у волозі та

кліматичні умови. Ці фактори впливають на такі параметри, як площа поливу, кількість локацій, культура та її норма поливу на різних фазах росту, наявність насосного обладнання та його продуктивність.

Вибір системи поливу також залежить від тиску води на виході, який може змінюватися в залежності від наявності фільтруючих елементів, довжини та діаметру водогону [7].

Використання автоматизованого поливу значно полегшує процес догляду за рослинами та виключає можливість помилок. На сьогоднішній день ринок товарів для автоматичного поливу пропонує різноманітні рішення, що дозволяють повністю автоматизувати процес поливу без участі людини [8].

Таким чином, аналіз ринку та існуючих систем автоматичного поливу дозволяє зробити висновок про необхідність розробки нової системи з додатковими функціями, яка б повністю задовольняла потреби користувачів.

### **1.1 Пристрій автоматичного поливу виробництва Aqualin**

Контролер (рис.1.1) керує системою зрошення на присадибних ділянках та в теплицях, подаючи воду через електромагнітні клапани, що працюють від змінного струму напругою 24 В. Налаштування та програмування контролера здійснюється через Bluetooth за допомогою пристрою на базі Android, наприклад смартфона або планшета, з попередньо встановленим додатком Aqualin. Спочатку канали програмуються в додатку. Після підключення мобільного пристрою до контролера через Bluetooth інформація передається до пам'яті контролера. Якщо в додатку вносяться зміни до схеми поливу, необхідно знову підключитися до контролера для оновлення даних.

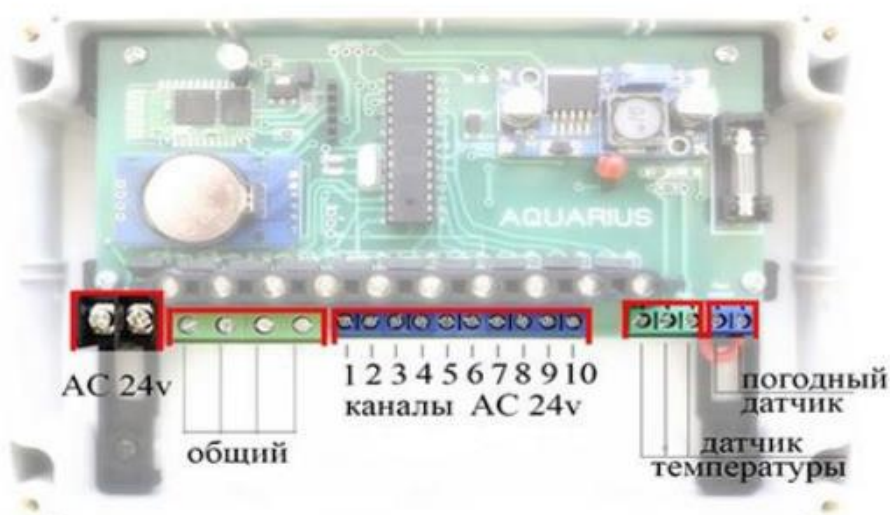


Рисунок 1.1 – пристрій Aqualin.

До контролера Aqualin можна підключити датчик погоди, який зупиняє полив під час або після дощу. Також є можливість підключення датчика температури навколишнього середовища. Пристрій має функцію, яка визначає температуру повітря, і якщо вона опускається нижче заданого рівня, система поливу вимикається. Додаток дозволяє користувачеві редагувати та встановлювати різні програми, забезпечуючи ручне керування. Важливо пам'ятати, що оскільки пристрій Android і контролер з'єднуються через Bluetooth, під час передачі даних вони повинні знаходитися поруч один з одним, інакше з'єднання буде розірвано.

Кожен канал програмується окремо, і максимальний час поливу для однієї програми становить 255 хвилин. Дев'ятий канал може працювати в автоматичному режимі, спільно з будь-яким з каналів з першого по восьмий. Таким чином, можна керувати подачею води в систему, вмиканням загального клапана або поверхневого насоса. Десятий канал дозволяє вмикати клапан або інший пристрій в імпульсному режимі, що зручно, наприклад, для створення туману в теплиці або на відкритій веранді за високої температури.

## 1.2 Система крапельного зрошення Rain-Bird

Крапельні системи зрошення широко застосовують для поливу овочевих культур, плодово-ягідних дерев, кущів, кімнатних рослин та інших зелених насаджень у всьому світі. Цей метод поливу активно застосовується в таких країнах, як Франція, Туреччина, Кіпр, Ізраїль, Португалія та багатьох інших протягом сезону городництва.

У цій унікальній системі тривалість поливу може сягати до 12 годин. Ефективність такого способу зрошення покращує врожайність овочевих культур приблизно на 20% в порівнянні з іншими методами поливу. Комплект крапельного поливу на 80 рослин поєднує в собі всі переваги крапельного зрошення за досить доступною вартістю. Він призначений для використання в теплиці чи на грядці, в саду. Підключається до ємності об'ємом більше 200 літрів, оптимальна висота встановлення ємності — 1 метр. Полив здійснюється теплою, нагрітою на сонці водою.



Рисунок 1.2 – система зрошення Rain-Bird.

Вода подається безпосередньо в прикореневу зону рослин. З кожної окремої крапельниці виділяється приблизно 1,5–2 літри води за 120 хвилин.

Шланги в комплекті чорного кольору, що запобігає цвітінню води та утворенню слизу, які можуть засмічувати крапельниці. Розміщення крапельниць рекомендується здійснювати індивідуально під кожен рослину або рівномірно вздовж грядки.

Живлення блоку керування поливом здійснюється через адаптер на 12 В, від електромережі 220 В або від батарейок типу АА (1,5 В). Під час першого ввімкнення система проходить початкове тестування: по черзі вмикаються всі світлодіоди, стартує насос подачі води, а після його вимкнення через тридцять секунд вмикається реверсний насос орієнтовно на 5 секунд. Після завершення тестування блок встановлюється у режим очікування. Блок почне працювати автоматично лише після завершення перевірки. Світлодіоди вказують на налаштовані параметри, такі як тривалість поливу (2, 4, 8 або 12 годин) та періодичність (щодня, кожні 2, 4 або 7 днів). В автоматичному режимі полив проводиться в один і той самий час після увімкнення блоку.

Особливістю пристрою є те, що рідина через шланги надходить до крапельних дозаторів. Крапельниця являє собою кілочок із гребінкою, через яку вода повільно просочується, утворюючи краплі. Споживання води залежить від тиску і в середньому становить 1,5–2 літри за 120 хвилин.

### **1.3 Пристрій для поливу рослин Rachio 3**

Rachio 3 – це флагманський інтелектуальний контролер системи поливу. Цей пристрій, який демонструє високу продуктивність і користується найвищими оцінками користувачів, забезпечує ефективну економію води та можливість дистанційного керування поливом, об'єднані в простому у використанні додатку Rachio.

Функція Weather Intelligence™ Plus дає можливість Rachio 3 точно передбачати зміни погоди та автоматично коригувати графік поливу, щоб

забезпечити оптимальне зволоження рослин у будь-який момент. Легка установка та інтегровані інструкції у додатку дозволяють швидко налаштувати та запустити пристрій. На рисунку 1.3 зображено зовнішній вигляд пристрою Rachio 3.



Рисунок 1.3 – Пристрій для поливу рослин Rachio 3.

Пристрій дозволяє суттєво зменшити свій екологічний слід за допомогою графіків поливу, які враховують потреби вашої ділянки, та автоматично адаптує їх до впливу погодних умов окремої ділянки.

Технологія Weather Intelligence Plus використовує сучасні прогнози погоди та мережу з понад 300 000 метеостанцій для точного забезпечення рослин необхідною кількістю води. Rachio 3 автоматично скасовує полив у випадку достатніх опадів у прогнозі, а також адаптується до змін погоди, враховуючи такі фактори, як сильний вітер, низькі температури, фактичний рівень опадів тощо, створюючи сприятливі умови для росту рослин.

Система поливу Rachio 3 сумісна зі смартфонами на базі iOS 10.3+ та Android 4.4+. Підключення пристрою до телефону здійснюється через Wi-Fi, для чого потрібно завантажити спеціальний додаток. Завдяки цьому додатку ви можете аналізувати процес поливу та налаштовувати параметри відповідно до своїх побажань. Додаток Rachio працює як ваш особистий помічник, забезпечуючи оптимальний полив рослин без зайвих витрат. Ви

можете переглядати та управляти зонами поливу безпосередньо зі смартфона, планшета чи комп'ютера.

Контролер Rachio 3 представлений у двох моделях: для 8 зон поливу та для 16 зон поливу.

#### **1.4 Система керування поливом Gardena 6030 Classic**

Gardena 6030 Classic — це автоматичний контролер для керування системами поливу, призначений для зрошення саду чи ділянки. Він може керувати до шести електромагнітних клапанів, забезпечуючи індивідуальні налаштування для кожної зони поливу.



Рисунок 1.4 – Система керування поливом Gardena 6030 Classic.

Основні характеристики:

- Кількість зон поливу: до 6.
- Програми поливу: для кожного клапана можна встановити до трьох окремих програм з тривалістю від 1 хвилини до 3 годин 59 хвилин.
- Сумісність із датчиками: підтримує підключення датчиків вологості ґрунту та дощу для автоматичного регулювання поливу залежно від погодних умов.

- Живлення: працює від побутової електромережі; для резервного живлення можна встановити батарею 9 В (не входить до комплекту).
- Управління насосом: є можливість підключення до насоса Gardena 1273-20 для автоматичного керування його роботою.
- Монтаж: підходить для встановлення в приміщенні або на захищеній від дощу зовнішній стіні.

Цей контролер забезпечує зручне та ефективне управління поливом, враховуючи індивідуальні потреби різних зон вашого саду, теплиці чи ділянки. Додатково, підключення датчиків вологості та дощу дозволяє економити воду та адаптувати полив до актуальних погодних умов.

### **1.5 Система автоматичного зрошення Kärcher Rain System**

Kärcher Rain System – це інноваційна система автоматичного зрошення, що поєднує сильні сторони крапельного та традиційного поливу, гарантуючи ефективне використання води для вашого саду. На рис. 1.5 зображено загальний вигляд системи.

Основні характеристики:

- Робочий тиск: підтримує до 4 бар.
- Шланг: гнучкий ПВХ-шланг (1/2") з інтегрованими крапельницями та мікророзпилювачами.
- Регулювання: можливість точного налаштування витрати води для кожної крапельниці в діапазоні 0-10 л/год, що забезпечує індивідуальний підхід для різних рослин.
- Додатковий захист: можливість встановлення редуктора тиску та фільтра для захисту системи від перенавантаження і забруднень.
- Гнучкість: система легко адаптується до будь-якого планування саду, забезпечуючи максимально точний підхід до поливу.



Рисунок 1.5 – Система автоматичного зрошення Kärcher Rain System.

Для спрощення процесу встановлення Kärcher пропонує набір Kärcher Rain Box, який містить усі необхідні компоненти: фільтр, крапельниці, з'єднувальні елементи та шланги. Це готове рішення для швидкого налаштування ефективної системи поливу.

Основні переваги використання Kärcher Rain System:

- Раціональне використання води: подача води точно до кореневої системи рослин знижує втрати та сприяє економії ресурсів.
- Оптимальні умови для рослин: рівномірний полив забезпечує здоровий ріст рослин і запобігає пересушуванню чи надмірному зволоженню ґрунту.
- Автоматичне управління: у поєднанні з таймером SensoTimer система працює автоматично, що забезпечує зручність у використанні та економить ваш час.

Kärcher Rain System ідеально підходить для зрошення живоплотів, кущів, овочевих грядок і квітників. Придбати систему або дізнатися більше можна на офіційному сайті Kärcher.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

У цьому розділі будуть розглянуті ключові критерії створення системи автоматичного зрошення для теплиць чи присадибних ділянок. Також буде наведено опис основних компонентів, таких як мікроконтролери, датчики, насоси, з яких складатиметься розроблена система поливу, способи їх підключення та короткий опис їх функціонування.

### 2.1. Мікроконтролер.

Мікроконтролер – це різновид інтегральної мікросхеми, який широко використовується в електронних пристроях, зокрема в побутовій техніці [9]. Всі чули про мікропроцесори, наприклад, Intel, які виконують роль «мозку» у комп'ютерах. Мікропроцесори – це інтегральні схеми, що обробляють інформацію, виконують розрахунки та передають дані до пам'яті або на диск. Зовнішній вигляд мікроконтролера можна побачити на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Зразок мікроконтролера

Мікроконтролер є особливим видом мікропроцесора і має низку відмінностей:

Вбудовані функції вводу/виводу. Мікроконтролер може зчитувати та записувати цифрові й аналогові значення, безпосередньо підключаючись до

зовнішніх пристроїв: перемикачів, кнопок, ЖК-дисплеїв, світлодіодів, реле або послідовних портів.

Застосування для нескладних завдань. Мікроконтролери зазвичай використовуються для виконання завдань малої або середньої складності, на відміну від потужних мікропроцесорів, які працюють із багатозадачними програмами.

Енергоефективність. Вони ідеально підходять для портативних пристроїв, що працюють на батареях, таких як цифрові камери, оскільки споживають мінімальну кількість енергії [10].

Менший обсяг оперативної пам'яті. На відміну від мікропроцесорів ПК, мікроконтролери зазвичай мають оперативну пам'ять у межах від 1 до 64 кілобайтів.

Програма зберігається в енергонезалежній пам'яті. Мікроконтролери використовують пам'ять типу EPROM або EEPROM, що дозволяє зберігати програму навіть після вимкнення пристрою, а також перезаписувати її за потреби.

Приклади застосування мікроконтролерів:

Охоронні системи. Вони включають мікроконтролери, що керують клавіатурою, дисплеєм та сенсорними датчиками.

Побутова техніка. Нові моделі пральних машин, мікрохвильових печей і посудомийних машин використовують мікроконтролери для автоматизації процесів.

Автомобілі. Використовуються для управління двигуном, відображення інформації на панелі приладів та інших завдань.

Цифрові камери. Вони обробляють дані з кнопок, керують зйомкою та відображенням зображень.

Мікроконтролери є основою багатьох сучасних електронних пристроїв, що робить їх невід'ємною частиною розробки автоматизованих систем [12].

### 2.1.1 Платформа Arduino

Arduino – це апаратно-програмна платформа з відкритим вихідним кодом, яка базується на мікроконтролерах Atmel [13]. Наявність відкритого коду означає, що електричні схеми та вихідний код програмного забезпечення доступні для перегляду, редагування та використання ентузіастами. Розробницькі плати Arduino, що мають аналогові та цифрові входи й виходи, є ідеальним вибором для художників, дизайнерів і любителів електроніки, які бажають створювати власні системи без глибоких знань цифрових технологій. Всі входи та виходи доступні через ряд роз'ємів на платі, куди можна підключати окремі контакти або конектори SIL.

Основні характеристики плат Arduino.

Цифрові входи/виходи:

- Arduino має кілька цифрових контактів, які можна налаштувати як вхідні або вихідні. Деякі з них підтримують широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) – сигнал у вигляді прямокутної хвилі з варіативною тривалістю імпульсу.

Аналогові входи:

- Більшість плат Arduino мають кілька аналогових каналів для зчитування значень з датчиків.

Послідовний порт:

- Наявний щонайменше один порт для передачі даних, який також використовується для завантаження коду на плату Arduino.

Аналогові виходи:

- Деякі плати підтримують аналогові виходи, але їх функції можуть бути гнучко налаштовані залежно від завдань.

Функціональність плат Arduino:

- Arduino може зчитувати дані з підключених датчиків через аналогові або цифрові входи.

- Пристрій може керувати приводами, наприклад, двигунами, сигналізаціями, реле або електричними клапанами.
- Плати також можуть взаємодіяти з візуальними індикаторами, такими як світлодіоди чи лампи.
- Для роботи з потужними пристроями між виходами плати та навантаженням зазвичай використовуються транзистори, FET або реле.
- Розширення можливостей за допомогою щитів (модулів):

На платах Arduino є стандартні роз'єми, що дозволяють легко підключати спеціалізовані модулі, зокрема:

- Інфрачервоні передавачі;
- Bluetooth;
- GSM;
- Wi-Fi;
- Ethernet;
- Реле для керування двигунами;
- Контролери крокових двигунів.

Оскільки як апаратна, так і програмна частина Arduino має відкритий код, сторонні розробники створили безліч клонів офіційних плат.

### **2.1.2 Різновиди плат Arduino.**

Arduino підходить як для простих, так і для складних проектів [14, 21].

Прості завдання: наприклад, автоматичне ввімкнення пристрою, коли температура в кімнаті падає нижче встановленого рівня.

Складні проекти: можна додати модуль GSM для надсилання повідомлень або створити систему автоматизації будинку, якою можна керувати зі смартфона.

Arduino забезпечує гнучкість і простоту в роботі, дозволяючи реалізувати як повсякденні, так і інноваційні рішення в галузі електроніки. Бібліотеки та документацію можна знайти на офіційному сайті Arduino.cc. Можна створити власне доповнення до електронної системи або скористатися спеціальними модулями (щитами) для побудови модульної системи. Завдяки своїй універсальності плати Arduino можуть використовуватися як для простих, рутинних завдань, так і для складних проєктів.

Наприклад, простий додаток може автоматично вмикати пристрій, коли температура в приміщенні падає нижче заданого рівня. Цю систему легко розширити, додавши модуль GSM для надсилання текстових повідомлень. Крім того, плати Arduino дозволяють реалізувати складні системи автоматизації будинку, якими можна керувати за допомогою смартфона.

На ринку доступний великий вибір плат Arduino, кожна з яких має унікальні характеристики та функції. Серед популярних моделей:

- Arduino Micro;
- Arduino Nano;
- Arduino UNO;
- Arduino Mega.

Існують також численні модифікації цих плат з додатковими вбудованими функціями [13, 14, 15]. Давайте розглянемо деякі з них, щоб визначити, яка плата найкраще підходить для нашого проєкту системи автоматичного поливу рослин.

### **Arduino Nano.**

Arduino Nano – це компактна, сумісна, гнучка та зручна у використанні плата мікроконтролера, розроблена італійською компанією Arduino.cc на базі мікроконтролера ATmega328. Вона має ту саму функціональність, що й Arduino UNO, але відрізняється меншими розмірами.

### Основні характеристики Arduino Nano:

- Робоча напруга: 5В (вхідна напруга може коливатися в межах 7-12В).
- Цифрові виходи: 14 контактів.
- Аналогові входи: 8 контактів.
- Виходи для скидання: 2 контакти.
- Живлення: 6 контактів.

Arduino Nano ідеально підходить для проєктів, де важлива компактність та ефективність. Зображення плати Arduino Nano наведено на рисунку 2.2.

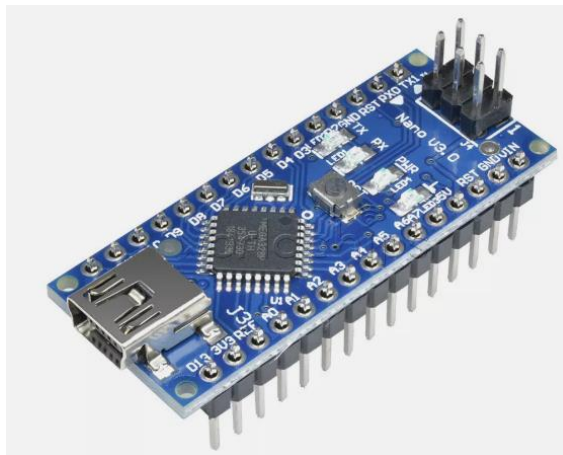


Рисунок 2.2 – Arduino Nano

Кожен із цифрових і аналогових контактів Arduino Nano може виконувати кілька функцій, але основне призначення контакту має бути налаштоване як вхід або вихід [15]. Ці контакти працюють як вхідні, коли підключені до датчиків, але можуть використовуватися як вихідні для керування навантаженнями. Arduino Nano оснащений кварцовим генератором частотою 16 МГц, який забезпечує точне тактування за допомогою стабільної напруги.

Одне з обмежень цієї плати полягає в тому, що вона не має роз'єму живлення для постійного струму, тобто її не можна підключити до зовнішнього джерела живлення. Замість стандартного USB-порту плата

використовує Mini USB для підключення до комп'ютера. Завдяки компактному розміру та зручному дизайну плата Arduino Nano є ідеальним вибором для проєктів, де важливі невеликі розміри електронних компонентів.

#### *Пам'ять Arduino Nano:*

Обсяг флеш-пам'яті залежить від мікроконтролера:

Atmega168: 16 КБ флеш-пам'яті.

Atmega328: 32 КБ флеш-пам'яті.

Флеш-пам'ять використовується для зберігання програмного коду. Незважаючи на схожість із іншими платами Arduino, компактний розмір виділяє Arduino Nano серед інших моделей.

#### **Arduino Uno.**

Arduino Uno є однією з найбільш популярних плат Arduino. Це мікроконтролерна плата з відкритим вихідним кодом, розроблена Arduino.cc на базі мікроконтролера AVR Atmega328. Актуальна версія Arduino Uno оснащена USB-інтерфейсом, шістьма аналоговими входами та 14 цифровими портами вводу/виводу, які використовуються для підключення до зовнішніх електронних схем. Із 14 портів 6 підтримують широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ). На рисунку 2.3 зображено зовнішній вигляд плати Arduino Uno.

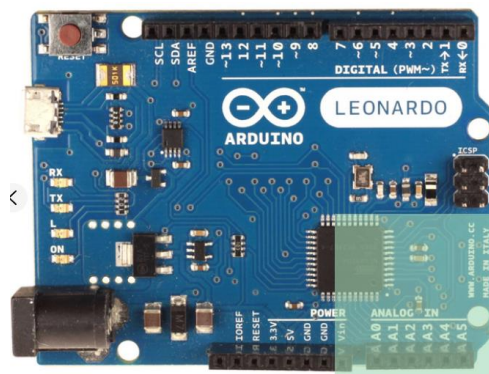


Рисунок 2.3 – Arduino Uno

Ця плата дозволяє розробникам взаємодіяти з реальними електронними пристроями, здійснювати керування та отримувати дані від зовнішніх сенсорів і механізмів.

Arduino Uno постачається з усіма необхідними функціями для роботи з контролером. Вона може підключатися до комп'ютера через USB-кабель, який використовується для передачі програмного коду на мікроконтролер за допомогою середовища розробки IDE (Integrated Development Environment). IDE підтримує операційні системи Windows, macOS і Linux, але для роботи перевагу часто надають Windows. Основними мовами програмування, які використовуються в IDE, є C та C++.

Окрім USB-з'єднання, для живлення плати можна використовувати батареї або адаптер змінного струму на постійний.

Особливості та переваги:

- Гнучкість: Arduino Uno має 14 цифрових входів/виходів і 6 аналогових входів, що дозволяє легко підключати зовнішні пристрої.

Живлення: Плата працює при напрузі 5В, яку можна подавати через USB-порт або зовнішній адаптер. Також вона підтримує зовнішнє живлення до 12В з регулюванням до 5В або 3,3В залежно від потреб проєкту.

- Пам'ять: Arduino Uno оснащена флеш-пам'яттю обсягом 32 КБ, що дозволяє зберігати код для виконання інструкцій.

- Мікроконтролер: Плата побудована на мікроконтролері Atmega328, який має вбудовані таймери, лічильники, ШІМ (широтно-імпульсну модуляцію), ЦП та інші функції. Усе це працює на тактовій частоті 16 МГц, що забезпечує високу продуктивність і швидкість виконання команд.

- Arduino Uno – це платформа з відкритим вихідним кодом, що дозволяє розробникам модифікувати її для реалізації різних завдань і оптимізації під конкретні потреби. Вона також має кнопку скидання, яка дозволяє перезавантажити плату й почати виконання програми з початку. Це зручно в разі зависання системи.

### **Arduino Mega.**

Також існує менш популярна версія плати, яка називається Arduino Mega [15]. Вона необхідна для виконання масштабніших проєктів.

Arduino Mega – це мікроконтролерна плата, побудована на основі мікроконтролера Atmega2560. Вона має значно більший обсяг пам'яті та більше контактів вводу/виводу порівняно з іншими платами, представленими на ринку. На рисунку 2.4 зображено зовнішній вигляд плати Arduino Mega.

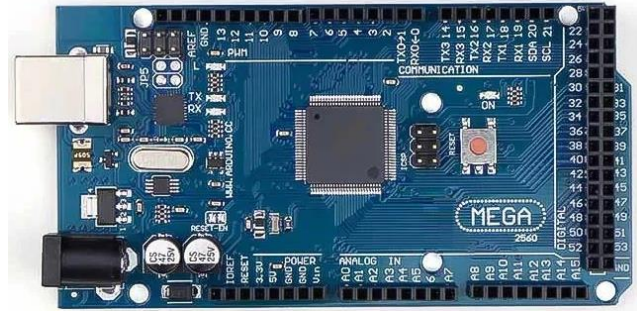


Рисунок 2.4 – Arduino Mega

На платі Arduino Mega є 54 цифрових входи/виходи та 16 аналогових контактів, що робить її унікальною та виділяє серед інших плат. З цих 54 цифрових контактів 15 підтримують функцію широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Крім того, плата оснащена кварцовим генератором із частотою 16 МГц. Вона має USB-порт для підключення до комп'ютера та передачі коду з використанням програмного забезпечення.

Особливості живлення плати: На платі передбачено роз'єм для живлення постійним струмом, який використовується для живлення пристрою. Водночас деякі моделі Arduino, наприклад, Arduino Pro Mini, не мають такого роз'єму. Arduino Mega обладнана двома регуляторами напруги (5 В і 3,3 В), що забезпечує більшу гнучкість у налаштуванні напруги в порівнянні з Arduino Pro Mini, яка має лише один регулятор [24].

Порівняння Arduino Uno та Arduino Mega: Між Arduino Uno та Arduino Mega єдина значна різниця полягає в обсязі пам'яті, розмірі плати та кількості контактів вводу/виводу. Arduino Mega має більше місця для зберігання даних

і додаткові контакти, що дозволяє використовувати її для складніших проєктів.

Програмування плати: Для програмування плат використовується програмне забезпечення Arduino IDE, яке є універсальним для всіх пристроїв сімейства Arduino. Наявність мікроконтролера Atmega16 на платі Arduino Mega є її перевагою над Arduino Pro Mini, яка використовує USB-послідовний перетворювач для завантаження коду.

## **2.2 Плата керування двигунами**

Для системи автоматичного поливу рослин необхідна розширювальна плата, яка дозволяє підключити:

- двигун для поливу рослин;
- двигун для забору води;
- двигун для провітрювання приміщення;
- двигун для прогріву ґрунту.

Отже, потрібна плата, здатна керувати чотирма двигунами та сумісна з Arduino UNO.

Для цього проєкту ідеально підходить розширювальна плата для Arduino – L293D Motor Shield.

Якщо ви плануєте створити новий проєкт, вам, ймовірно, знадобиться навичка керування різними типами двигунів [16], такими як двигуни постійного струму, крокові двигуни та сервоприводи. Один із найпростіших і доступних способів реалізувати це – використання L293D Motor Driver Shield у поєднанні з Arduino UNO.

Це багатофункціональний моторний щит, який ідеально підходить для різноманітних проєктів, таких як роботи або системи числового програмного керування (ЧПК). На рисунку 2.5 зображено зовнішній вигляд L293D Motor Driver Shield.

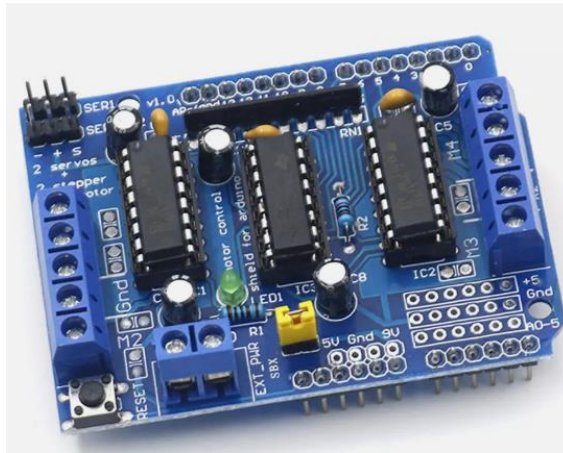


Рисунок 2.5 – L293D Motor Driver Shield.

L293D Motor Shield дозволяє керувати наступними типами двигунів:

- 4 двонаправленими двигунами постійного струму з 8-бітним регулюванням швидкості (значення від 0 до 255);
- 2 кроковими двигунами (однополярні або біполярні) з режимами роботи: одиночна, подвійна котушка, чергування або мікрокроки;
- 2 серводвигунами.

L293D — це двоканальний драйвер двигуна типу Н-міст, що дозволяє керувати двома двигунами постійного струму або одним кроковим двигуном. Завдяки двом мікросхемам L293D, які входять до складу плати, можна незалежно керувати до чотирьох двигунів постійного струму. Це робить плату ідеальним вибором для створення роботизованих платформ на чотирьох колесах [14].

Підключення двигунів:

Виходи мікросхем L293D виведені на 5-контактні клеми: M1, M2, M3 і M4. До цих клем можна підключити чотири двигуни постійного струму з напругою від 4,5 до 25 В. Кожен канал підтримує струм до 600 мА, однак реальна величина струму залежить від джерела живлення системи.

Можна підключити два крокові двигуни: один до пари портів M1-M2, інший — до M3-M4. Для однополярних крокових двигунів передбачена клемма GND, до якої можна підключити середній відвід обмоток двигуна.

L293D Motor Shield — це універсальне рішення для керування різними типами двигунів, що робить його ідеальним вибором для проєктів автоматизації та робототехніки.

### 2.3 Двигун для поливу та забору води

Water Sensor (датчик води) – це пристрій, який використовується для виявлення наявності вологи [13]. Основні сфери його застосування:

- Виявлення рівня води в ємностях;
- Виявлення дощу;
- Контроль витоку води;
- Моніторинг затоплень.

Як тільки волога потрапляє на поверхню датчика, він надсилає дані на плату Arduino, які вказують на наявність вологи.

Отримані дані можна використовувати для різноманітних проєктів, таких як системи автоматичного поливу, моніторинг рівня води або управління насосами.

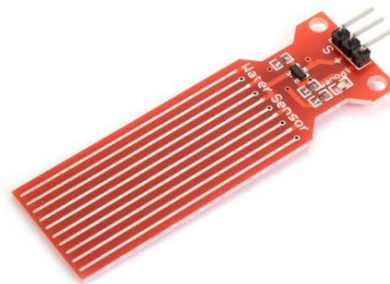


Рисунок 2.6 – Water sensor.

#### **Датчик рівня води.**

Цей датчик призначений для визначення рівня води в різних ємностях, де немає можливості здійснювати візуальний контроль. Його основна мета — запобігти переповненню ємності водою. На ринку існує кілька типів датчиків рівня води, зокрема: поплавкові, вбудовані та занурювальні. Даний датчик є

занурювальним. Чим глибше він занурений у воду, тим менший опір між двома сусідніми контактами.

## **2.4 Датчик для визначення вологості ґрунту**

Цей датчик вологості ґрунту дозволяє вимірювати рівень вологості в ґрунті. Якщо в ґрунті недостатньо води, аналогове значення, яке видає датчик, зменшиться. У разі високої вологості це значення зростатиме. Використовуючи цей датчик, можна створити автоматичну систему поливу, яка визначатиме, чи потребує рослина води, і запобігатиме її висиханню у відсутності людини. Поєднання датчика з контролером Arduino робить процес землеробства зручнішим, а ваш сад "розумнішим" [15].

Датчик складається з двох зондів, які вставляються в ґрунт. Через ґрунт пропускається електричний струм, і датчик вимірює опір між зондами. Це значення опору перетворюється на рівень вологості ґрунту. Чим вища вологість, тим вища електропровідність ґрунту.

За допомогою датчика Arduino може визначити низький рівень вологості ґрунту й увімкнути насос для поливу рослин. На рисунку 2.7 зображено датчик вологості ґрунту.



Рисунок 2.7 – Датчик вологості ґрунту.

## **2.5 Пристрій для визначення вологості повітря і температури DHT11**

Датчик DHT11 значно полегшує додавання інформації про вологість і температуру до ваших проєктів DIY (зроби сам) електроніки. Він ідеально

підходить для таких застосувань, як віддалені метеостанції, системи керування мікрокліматом у домі, а також для моніторингу стану середовища у фермерських господарствах чи садах.

Датчик DHT11 вимірює відносну вологість, яка визначає кількість водяної пари в повітрі відносно максимальної кількості пари, яку повітря може утримувати перед насиченням. У точці насичення водяна пара починає конденсуватися, утворюючи росу на поверхнях.

Холодне повітря може утримувати менше водяної пари, перш ніж досягти насичення.

Гаряче повітря може утримувати більше водяної пари перед насиченням.

DHT11 визначає наявність водяної пари за допомогою вимірювання електричного опору між двома електродами. Датчик вологості містить основу, що утримує вологу, на яку нанесені електроди.

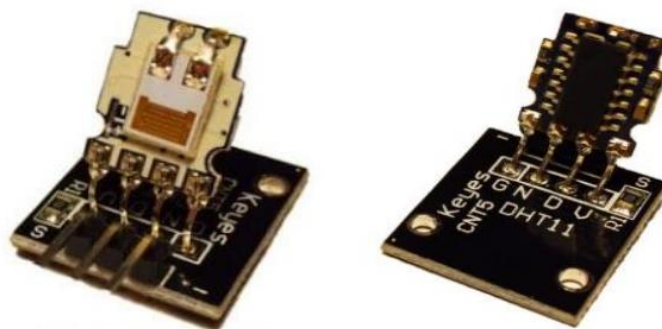


Рисунок 2.8 – Датчик відносної вологості DHT11 без пластикового корпусу

Мікросхема, розташована на зворотній стороні пристрою, виконує перетворення виміряного опору у відносну вологість. Вона також зберігає калібрувальні коефіцієнти та забезпечує передачу даних між DHT11 і Arduino.

DHT11 використовує лише один сигнальний провід для передачі даних до Arduino. Живлення подається через окремі дроти: 5 В і заземлення. Для коректної роботи необхідно підключити підтягувальний резистор номіналом 10 кОм між сигнальною лінією та лінією 5 В, щоб за замовчуванням

сигнальний рівень залишався високим. У деяких версіях датчика цей резистор уже інтегрований у корпус.

Існує дві версії датчика DHT11:

- Чотириконтактна версія.
- Триконтактна версія, змонтована на невеликій друкованій платі.

Перевага версії з монтажем на плату полягає в тому, що вона включає поверхнево встановлений резистор 10 кОм для сигнальної лінії, що спрощує підключення. На рисунку 2.9 зображені обидва типи датчика DHT11.

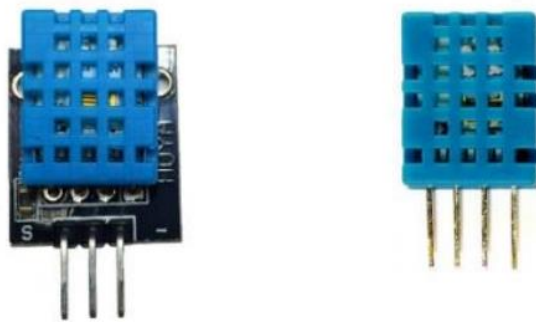


Рисунок 2.9 – Зліва – Датчик вологості повітря та температури, справа – датчик DHT11, змонтований на друкованій платі

Датчик DHT11 необхідний для автоматизованих систем керування вентиляцією, зокрема для моніторингу температури повітря та, за необхідності, автоматичного відкривання вентиляційних отворів для провітрювання приміщення. Крім того, датчик буде використовуватися в трубах для підігріву ґрунту, що дозволить контролювати температуру землі.

## **2.6 Модуль для створення віддаленого доступу до систем автономного водозабору для зрошення**

ESP8266 — це модуль із підтримкою Wi-Fi, розроблений компанією Espressif, який використовується переважно для розробки вбудованих IoT-додатків (Інтернету речей) [13, 27].

### Характеристики ESP8266:

- Підтримка Wi-Fi на частоті 2,4 ГГц;
- Універсальні контакти вводу/виводу (GPIO);
- Протокол послідовного зв'язку Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C);
- Аналого-цифрове перетворення (ADC);
- Протокол послідовного периферійного інтерфейсу (SPI);
- Інтерфейс I<sup>2</sup>S для звуку з підтримкою DMA (прямий доступ до пам'яті);
- UART (на виділених контактах, а також режим передачі на GPIO2);
- Широтно-імпульсна модуляція (ШИМ).

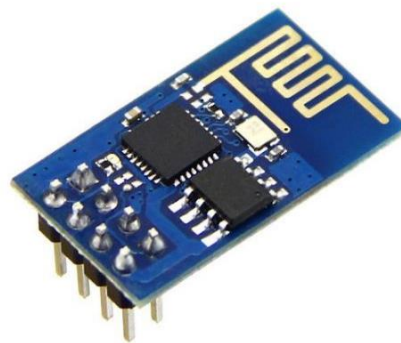


Рисунок 2.10 – Модуль ESP8266

ESP8266 — це недорогий автономний бездротовий передавач-приймач, який підходить для розробки кінцевих точок IoT.

Для взаємодії мікроконтролера з модулем ESP8266 використовується набір AT-команд [16]. Мікроконтролер підключається до модуля ESP8266-01 через UART зі встановленою швидкістю передачі даних.

ESP8266 є універсальним і економічно вигідним рішенням для створення віддалених систем керування, що робить його ідеальним вибором для проєктів автоматизованого зрошення.

## 2.7 Датчик температури DS18B20

DS18B20 — це цифровий датчик температури, який відрізняється простотою використання. Для підключення до Arduino потрібно лише одна лінія даних, через яку передаються дані [16, 28].

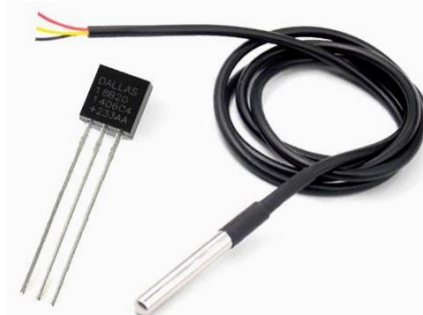


Рисунок 2.11 зовнішній вигляд датчика DS18B20.

DS18B20 може отримувати живлення від зовнішнього джерела живлення або працювати в так званому паразитному режимі, коли енергія надходить безпосередньо від плати Arduino. Це усуває потребу у використанні додаткового джерела живлення.

Кожен датчик DS18B20 має унікальний 64-бітний серійний код, що дозволяє підключати кілька датчиків до одного проводу даних. Це означає, що ви можете зчитувати температуру з декількох датчиків, використовуючи лише один цифровий контакт Arduino.

Ці особливості роблять DS18B20 ідеальним для моніторингу температури в автоматизованих системах [17, 29], особливо в тих випадках, коли потрібно вимірювати температуру одночасно в декількох точках.

## 3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Організація енергонезалежності проектованої системи

Живлення є ключовим елементом у функціонуванні електронних пристроїв, зокрема й систем автоматичного водозабору та поливу [18]. Стабільне живлення дозволяє системі працювати безперебійно. Для цього важливо визначити оптимальний тип живлення для даного пристрою. Розглянемо доступні варіанти живлення, їхні переваги та недоліки.

Нами розроблена міні сонячна електростанція потужністю 5 кВт для забезпечення живлення системи автоматичного зрошення невеликої потужності. Електростанція складається з сонячних панелей, акумуляторної батареї на основі технології LiFePo<sub>4</sub>, інвертора та системи управління. Даний проєкт забезпечує автономну роботу системи в умовах відсутності підключення до загальної електромережі.



Рисунок 3.1 – сонячна електростанція

Склад системи:

### 1. Сонячні панелі

- Кількість: 10 штук (по 500 Вт кожна).
- Тип: Монокристалічні сонячні панелі з ККД до 20%.
- Розташування: Панелі встановлюються на похилих кріпленнях під кутом 30°, орієнтовані на південь.
- Функція: Генерація постійного струму потужністю до 5 кВт при пікових умовах освітлення.

### 2. Акумуляторна батарея

- Модель: LiFePo4 акумулятор ємністю 5 кВт·год.
- Робоча напруга: 48 В.
- Технологія: Літій-залізо-фосфатна (LiFePo4).
- Причини вибору:
  - **Довговічність:** LiFePo4 акумулятори мають до 3000–5000 циклів заряду/розряду, тоді як AGM забезпечує лише близько 500–800 циклів.
  - **Стабільність:** LiFePo4 характеризується більш високою хімічною стабільністю, менш схильний до перегріву та вибуху, що підвищує безпеку системи.
  - **Ефективність:** Вища енергетична щільність дозволяє забезпечити більшу ємність при меншій вазі.
  - **Глибокий розряд:** LiFePo4 може безпечно розряджатися до 80–90%, тоді як AGM — лише до 50%.

### 3. Інвертор

- Модель: **Growatt SPF 5000 ES.**
- Характеристики:
  - Потужність: 5 кВт.
  - Вхідна напруга постійного струму: 48 В.

- Вихідна напруга змінного струму: 220 В.
- Тип: Гібридний інвертор з можливістю підключення батарей та прямого споживання енергії від сонячних панелей.
- Особливості:
  - Вбудований контролер заряду для управління зарядом LiFePo4 акумуляторів.
  - Підтримка моніторингу через мобільний додаток або ПК.

#### 4. Система управління

- Контролер заряду MPPT (Maximum Power Point Tracking) для максимального використання енергії сонячних панелей.
- Інтелектуальна система моніторингу для аналізу заряду батарей та витрати енергії.

Принцип роботи:

Сонячні панелі генерують постійний струм, який передається через MPPT-контролер для зарядки акумуляторів [19-20]. Інвертор перетворює постійний струм в змінний (220 В) для живлення системи автоматичного зрошення. У нічний час або при недостатньому освітленні енергія подається з акумуляторів.

Таблиця 3.1 - Порівняння технологій AGM і LiFePo4

| Параметр        | AGM       | LiFePo4          |
|-----------------|-----------|------------------|
| Цикли заряду    | 500–800   | 3000–5000        |
| Глибокий розряд | 50%       | 80–90%           |
| Термін служби   | 3–5 років | 10–15 років      |
| Вага та об'єм   | Важкі,    | Компактні, легкі |

| Параметр               | AGM     | LiFePo4                                           |
|------------------------|---------|---------------------------------------------------|
|                        | великі  |                                                   |
| Стійкість до перегріву | Середня | Висока                                            |
| Вартість               | Низька  | Вища (але вигідніша в довгостроковій перспективі) |

Зважаючи на вищенаведені переваги, в цьому проєкті обрано технологію **LiFePo4**, оскільки вона забезпечує довговічність, безпеку та ефективність.

#### Використання станції

Міні сонячна електростанція на 5 кВт забезпечує живлення системи автоматичного зрошення потужністю до 1–1,5 кВт, що включає насос для подачі води, датчики вологості та контролери. Система є екологічно чистою, економічною та автономною, що робить її ідеальним рішенням для невеликих господарств або приватних ділянок.

### 3.2 Модуль годинника реального часу DS3231

DS3231 — це недорогий, надзвичайно точний годинник реального часу з вбудованим кварцовим генератором, що має температурну компенсацію. Пристрій оснащений батарейним входом, який дозволяє зберігати точність хронометражу навіть за відсутності основного живлення. Інтеграція кристалічного резонатора забезпечує високу довготривалу точність роботи, а також зменшує кількість компонентів у виробничій схемі [21].

DS3231 доступний у двох температурних діапазонах (комерційному та промисловому) і постачається у 16-контактному корпусі.

Основні функції DS3231:

- Вимірювання секунд, хвилин, годин, дня, дати, місяця та року.
- Автоматична корекція дати в кінці місяця для місяців з менш ніж 31 днем, включаючи врахування високосних років.
- Підтримка 24-годинного та 12-годинного форматів з індикатором AM/PM.
- Два програмовані будильники для сигналізації в заданий час.
- Передача адреси та даних здійснюється через двонаправлену шину I2C.
- Вбудоване точне опорне напруження з температурною компенсацією.
- Схема компаратора контролює стан живлення VCC для виявлення перебоїв.
- У разі потреби пристрій автоматично перемикається на резервне живлення, забезпечуючи стабільну роботу.

### Застосування в проєкті:

Модуль DS3231 ідеально підходить для нашого проєкту автоматичного зрошення. Завдяки цьому модулю можна точно регулювати подачу додаткової кількості води у важливі моменти росту рослин, наприклад, під час активного набору зеленої маси або на етапі дозрівання плодів.

Цей модуль забезпечує високу точність, зручність у використанні та надійність, що робить його важливим компонентом нашої системи [22].

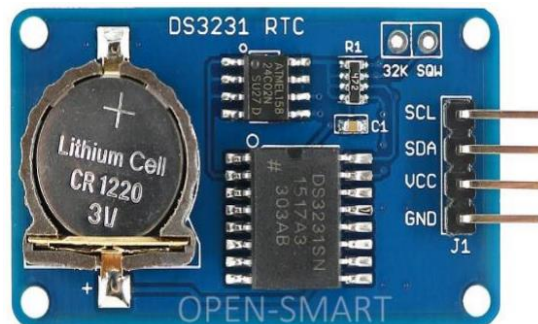


Рисунок 3.2 – Модуль реального часу DS3231

Для підключення датчика DS3231 до Arduino UNO необхідно під'єднати живлення до датчика, а також використовувати виводи SDA і SCL для передачі даних. Приклад схеми підключення датчика буде продемонстровано на рисунку 3.3.

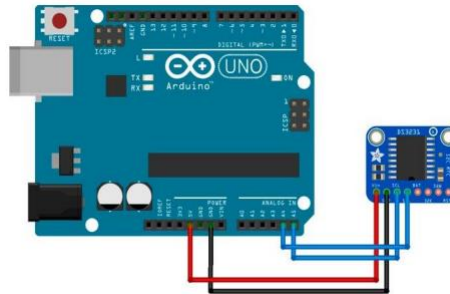


Рисунок 3.2 – Схеми підключення датчика DS3231

Усі вищезгадані електронні компоненти будуть використані в проєкті автоматичного поливу. Їхня низька вартість дозволяє створити якісну та економічно вигідну систему автоматизованого зрошення.

### 3.3 Реалізація підігріву ґрунту.

Одним із ключових чинників успішного вирощування рослин є волога та тепла ґрунтова основа [18]. Як забезпечити полив і підвищити вологість ґрунту, було описано раніше. Для підігріву ґрунту можна використовувати різні типи нагрівачів.

Існують різні методи підігріву ґрунту:

1. Електричний підігрів ґрунту є популярним методом, який часто застосовується в домашніх умовах, наприклад, для створення системи теплих підлог.

Для підігріву використовують спеціальний нагрівальний кабель, який підключається до електромережі. З допомогою терморегулятора можна змінювати температуру ґрунту, збільшуючи або зменшуючи її.

Недоліки:

- Високе споживання електроенергії.
- Потреба у великій потужності електромережі, що може бути проблемою в багатьох сільськогосподарських районах.

2. Альтернативою електричному підігріву є використання природного газу для нагріву води, яка потім циркулює в системі.

Переваги:

Це більш економний спосіб, особливо в регіонах, де доступний природний газ.

Недоліки:

- Висока вартість транспортування газу через трубопроводи.
- Обмежене застосування в місцевостях, де відсутня газова інфраструктура.

3. Інноваційний метод підігріву ґрунту

У процесі розробки системи автоматичного зрошення було створено новий спосіб підігріву ґрунту.

Принцип роботи:

У ґрунт закопуються труби діаметром 50 мм, один кінець яких виводиться у внутрішню частину даху теплиці, як показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Метод підігріву теплиці теплим повітрям

Цей метод забезпечує ефективний розподіл тепла по всій поверхні ґрунту та знижує витрати на енергію.

Для реалізації підігріву ґрунту необхідно встановити датчик DHT11 у трубу, який буде передавати інформацію про температуру повітря всередині ґрунту. Альтернативою може бути використання датчика температури DS18B20, який дозволяє вимірювати температуру безпосередньо в землі.

Датчик DHT11 або DS18B20 зчитує поточну температуру ґрунту або повітря в трубах. Якщо температура ґрунту опускається нижче заданого значення, вентилятор нагнітає тепле повітря з-під даху теплиці в труби, що проходять у землі. Повітря, яке проходить через труби, нагріває ґрунт, підвищуючи його температуру.

Переваги методу:

- Система не потребує додаткового використання електроенергії або газу під час роботи, що суттєво знижує експлуатаційні витрати.
- Відсутність викидів шкідливих речовин робить цей метод екологічно чистим.

Недоліки методу:

Менша ефективність:

- Через низьку теплоємність повітря метод є менш ефективним у порівнянні з електричними або газовими нагрівачами.
- Потреба в додаткових елементах:

Цей метод є економічно вигідним рішенням для підігріву ґрунту, особливо у випадках, коли доступ до газу або електроенергії обмежений.

### **3.4 Програмне забезпечення для проекту автоматичного забору води та зрошування.**

На сьогодні існує багато програм для створення програмного забезпечення для мікроконтролера Arduino UNO. Найпопулярнішою з них є програма з однойменною назвою Arduino IDE [14, 26], розроблена компанією

Arduino. Саме за допомогою цієї програми ми напишемо код для проєкту системи автоматичного забору води та зрошення.

Щоб перевірити коректність роботи написаної програми, необхідно створити макет і протестувати його в середовищі Tinkercad, яке дозволяє моделювати електронні схеми та програмувати їх у віртуальному середовищі [15, 26].

### **3.4.1 Програмне забезпечення Arduino IDE.**

Arduino IDE (інтегроване середовище розробки) є ефективним та простим інструментом для створення програмного забезпечення для мікроконтролерів Arduino [15, 25]. Це середовище підтримує всі базові функції, необхідні для написання та компіляції коду, а також його завантаження на плату. Arduino IDE популярне завдяки простоті, зручності та доступності.

Arduino IDE має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і не перевантажений складними меню чи функціями. Це ідеальний вибір для початківців, які хочуть зосередитися на створенні проєктів без занурення у складні налаштування. Незалежно від того, яку плату Arduino ви використовуєте (UNO, Mega, Nano тощо), IDE забезпечує її повну сумісність.

Програма має простий у використанні менеджер бібліотек, що дозволяє легко додавати сторонні ресурси для розширення функціональності. Arduino IDE працює на операційних системах Windows, macOS і Linux. Arduino IDE дозволяє писати код на мові, схожій на C/C++, компілювати його і завантажувати у мікроконтролер через USB-з'єднання.

Arduino IDE має відкритий вихідний код, що дозволяє користувачам створювати та модифікувати свої проєкти відповідно до потреб. Відкрите середовище та безліч доступних ресурсів роблять Arduino ідеальним вибором як для новачків, так і для професіоналів.

Arduino IDE — це перше середовище, яке використовують новачки при роботі з платами Arduino. Його простота дозволяє зосередитися на розробці проєкту, а не на технічних нюансах. Наприклад, для нашого проєкту автоматичного зрошення, саме Arduino IDE стане основним інструментом для написання та тестування коду.

Таким чином, завдяки простоті, зручності та наявності численних ресурсів, Arduino IDE залишається найпопулярнішим програмним забезпеченням для створення проєктів на базі Arduino [22-24].

### **3.4.2 Tinkercad: інструмент для тривимірного моделювання та прототипування**

У світі тривимірного моделювання Tinkercad зарекомендував себе як простий і доступний інструмент для автоматизованого проєктування. Це безкоштовна та інтуїтивно зрозуміла веб-програма CAD (САПР), яка підходить для всіх рівнів користувачів. Для початківців доступні навчальні матеріали, які допоможуть швидко освоїти програму.

Tinkercad розширив свої можливості, додавши функцію роботи зі схемами — Tinkercad Circuits. Цей модуль відкриває нову сторону платформи, дозволяючи моделювати електронні схеми з використанням Arduino. Tinkercad Circuits дозволяє створювати та програмувати проєкти Arduino у віртуальному середовищі без необхідності використовувати фізичне обладнання.

Незважаючи на початкову складність, детальне ознайомлення з платформою дозволяє зрозуміти, що вона дуже зручна та інформативна.

Завдяки Tinkercad Circuits, можна віртуально змоделювати систему автоматичного водозабору та зрошення, протестувати її роботу та усунути можливі помилки ще до створення фізичного пристрою. Це значно скорочує

витрати часу та ресурсів, забезпечуючи ефективний і надійний процес розробки.

Tinkercad — це не лише корисний інструмент для моделювання та прототипування, а й відмінний засіб для навчання, що робить його незамінним для початківців та досвідчених користувачів.

### 3.5 Розробка структурної схеми проектованої системи водозабору та зрошування

Після проведення аналізу ринку систем автоматичного зрошення ми визначилися з яких компонентів буде складатися пристрій і які завдання він виконуватиме.

На рисунку 3.4 зображено структурну схему проектованої системи, яка ілюструє всі основні складові системи та їх взаємодію.



Рисунок 3.4 – структурна схема проектованої системи

Структурна схема системи поділяється на чотири основні блоки:

## **1. Блок живлення.**

Блок живлення є основою роботи всієї системи та забезпечує живлення компонентів.

Складові блоку живлення:

Акумуляторна батарея: основне джерело живлення системи. Сонячна батарея: забезпечує зарядку акумулятора та збільшує автономність роботи пристрою. Блок живлення (5–12 В): підключається до мережі 220 В і може використовуватися як резервний варіант живлення. Блок живлення гарантує безперебійну роботу всіх елементів системи, включаючи мікроконтролер і двигуни.

## **2. Блок датчиків.**

Цей блок складається з кількох модулів для збору даних про стан середовища.

Складові блоку датчиків:

Датчик вологості ґрунту: контролює рівень вологості для забезпечення оптимального поливу. Датчик рівня води: визначає рівень води в резервуарі для запобігання переливу або виснаженню запасу. Датчик температури та вологості повітря: забезпечує моніторинг кліматичних умов у зоні вирощування. Датчик температури ґрунту: використовується для оцінки необхідності підігріву ґрунту. ESP8266: забезпечує віддалений доступ до системи. Модуль реального часу (DS3231): дозволяє синхронізувати час і налаштовувати розклад роботи системи. Датчики збирають дані, які передаються до блоку управління для подальшого аналізу.

## **3. Блок управління.**

Цей блок представлений мікроконтролером Arduino UNO, який координує роботу всієї системи. Функції блоку управління:

Отримує дані з датчиків та аналізує їх. Зберігає інформацію в пам'яті. Видає команди на блок управління двигунами.

Мікроконтролер:

Основний компонент блоку — ATmega328, який поєднує процесор, оперативну пам'ять і постійну пам'ять у компактному корпусі. Також використовується мікроконтролер ESP8266 для забезпечення віддаленого управління системою через Wi-Fi. Блок управління є мозком системи, що забезпечує її функціональність та гнучкість у роботі.

#### **4. Блок управління двигунами.**

Цей блок відповідає за механічні дії в системі, керуючи роботою чотирьох двигунів.

Складові блоку двигунів:

Двигун поливу: забезпечує подачу води до рослин. Двигун забору води: контролює наповнення резервуара водою. Двигун вентиляції: відповідає за провітрювання приміщення. Двигун підігріву ґрунту: використовується для нагнітання теплого повітря в труби для підігріву ґрунту.

Якщо потужності живлення від Arduino недостатньо, можна підключити додаткове джерело живлення безпосередньо до блоку управління двигунами.

Всі описані блоки працюють у взаємодії, забезпечуючи оптимальне функціонування системи автоматичного зрошення. Висока інтеграція датчиків, мікроконтролера, двигунів і живлення дозволяє створити ефективну, надійну та економічну систему для підвищення продуктивності вирощування рослин.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розробка принципової схеми пристрою

Після визначення всіх компонентів, які будуть використовуватися у системі автоматичного водозабору та зрошення рослин, можна перейти до розробки принципової схеми. Ця схема дозволить наочно побачити, як з'єднувати датчики з платами, а також підключати живлення до необхідних двигунів.

Етапи розробки принципової схеми:

#### 1. Аналіз компонентів.

Включає всі раніше визначені датчики, мікроконтролери, двигуни, модуль живлення та допоміжні елементи.

#### 2. Вибір програмного забезпечення.

Для створення схеми буде використовуватися Proteus — програма, яка дозволяє створювати якісні принципові схеми електронних пристроїв.

#### 3. Побудова схеми.

На схемі будуть позначені:

- З'єднання датчиків (DHT11, DS18B20, датчик вологості ґрунту та рівня води) із входами плати Arduino UNO.
- Виходи мікроконтролера, які підключаються до блоку управління двигунами.
- Живлення від акумуляторної батареї, сонячної батареї або зовнішнього джерела.
- Підключення модуля реального часу (DS3231) та модуля Wi-Fi (ESP8266).

Відображення джерел живлення:

- Напруга живлення розподіляється між блоками: датчики, плата Arduino, двигуни.
- Передбачено використання додаткового блоку живлення для забезпечення стабільної роботи двигунів.

На рисунку 4.1 представлена принципова схема пристрою. Ця схема стане основою для подальшої збірки та налаштування системи автоматичного водозабору та зрошення.

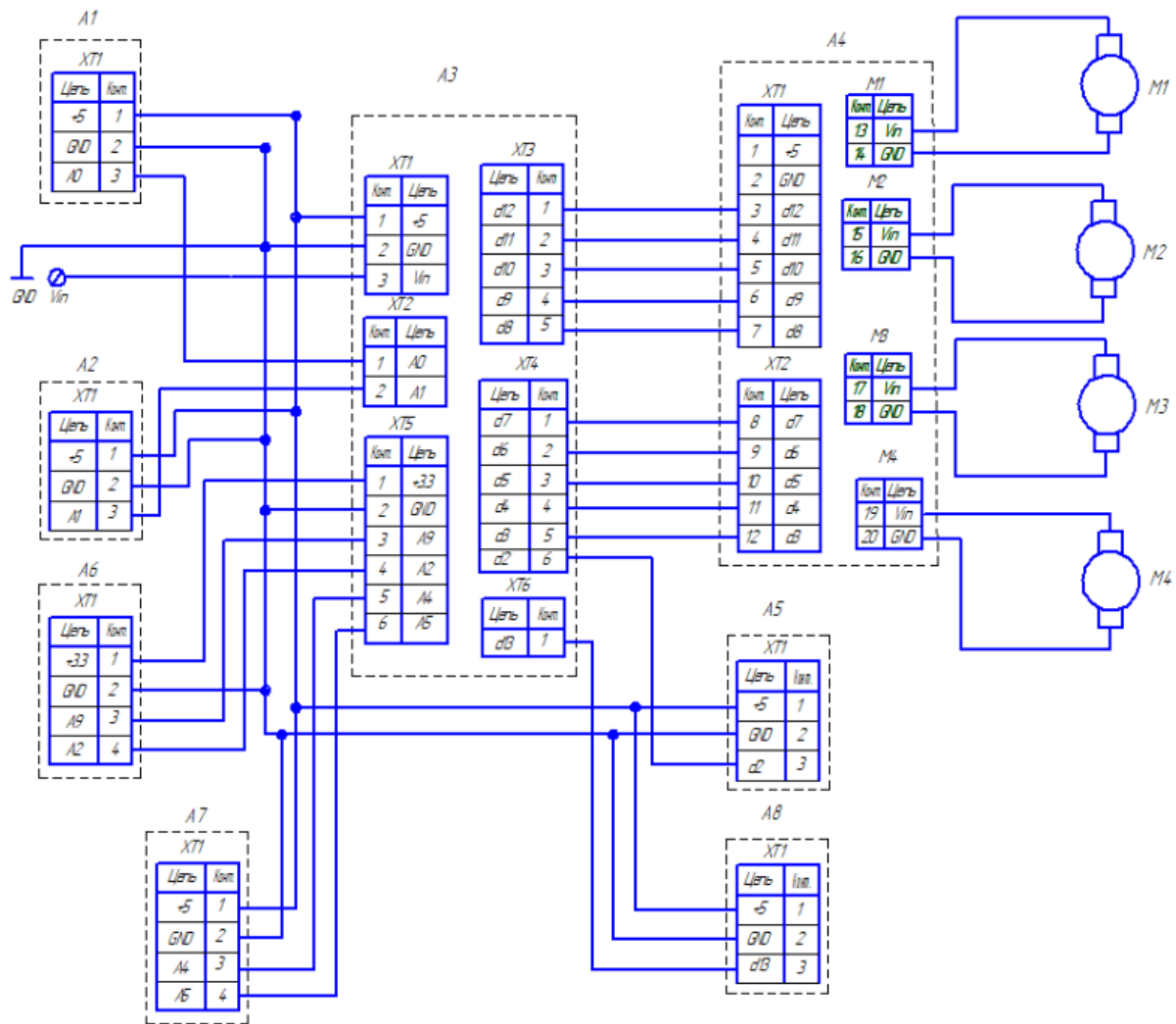


Рисунок 4.1 - принципова схема проекту.

Принципова схема дозволить не лише зібрати пристрій відповідно до технічних вимог, а й спростить подальшу діагностику та усунення можливих несправностей.

Таблиця 4.1 – Список компонентів, представлених у принциповій схемі

| Позначення             | Найменування                              | Кількість |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------|
| <b>Блок управління</b> |                                           |           |
| A1                     | Датчик вологості ґрунту                   | 1         |
| A2                     | Датчик рівня води                         | 1         |
| A3                     | Платформа Arduino UNO                     | 1         |
| A4                     | Розширювальна плата Motor Shield          | 1         |
| A5                     | Датчик температури та відносної вологості | 1         |
| A6                     | Датчик віддаленого доступу ESP8266        | 1         |
| A7                     | Датчик реального часу                     | 1         |
| A8                     | Датчик температури ґрунту                 | 1         |
| <b>Двигуни</b>         |                                           |           |
| M1                     | Мотор для поливу                          | 1         |
| M2                     | Мотор для забору води зі свердловини      | 1         |
| M3                     | Мотор для провітрювання теплиці           | 1         |
| M4                     | Мотор для підігріву ґрунту                | 1         |

**Опис таблиці:** У таблиці наведені всі компоненти, що входять до складу системи автоматичного зрошення, із зазначенням їхньої кількості. Компоненти поділені на дві основні категорії:

1. **Блок управління:** включає всі датчики, контролери та платформи, необхідні для збору даних і управління системою.
2. **Двигуни:** забезпечують виконання механічних функцій системи, таких як полив, забір води, провітрювання та підігрів ґрунту.

Ця таблиця дозволяє легко зрозуміти склад компонентів принципової схеми та їх призначення.

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

У цьому розділі буде описано процес розробки проєкту системи автоматичного зрошення рослин. Зокрема, створення програмного забезпечення для проєкту за допомогою Arduino IDE. Також буде виконано моделювання роботи системи у віртуальному середовищі Tinkercad Arduino, яке дозволяє перевірити функціональність створеної програми перед її фізичною реалізацією.

### 5.1 Компоненти для проєкту системи автоматичного забору води та зрошення

Таблиця 5.1 – Список використаних комплектуючих та програмного забезпечення

| №  | Назва компонента                                          | Кількість |
|----|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1  | Контролер Arduino UNO                                     | 1         |
| 2  | Розширювальна плата Motor Shield                          | 1         |
| 3  | Насос для забору води та поливу (Submersible Motor Water) | 3         |
| 4  | Датчик вологості ґрунту (Keyestudio)                      | 1         |
| 5  | Датчик рівня води (Water sensor)                          | 1         |
| 6  | Датчик температури та вологості повітря (DHT-11)          | 2         |
| 7  | Кулер                                                     | 2         |
| 8  | Датчик температури ґрунту                                 | 1         |
| 9  | Модуль віддаленого доступу ESP8266                        | 1         |
| 10 | Модуль реального часу                                     | 1         |
| 11 | Середовище розробки Arduino IDE                           | 1         |
| 12 | Програма Tinkercad                                        | 1         |
| 13 | Витратні матеріали                                        | 1         |

## 5.2 Створення макету системи автоматичного забору води та зрошення

Процес створення системи автоматичного забору води та зрошення починається з підключення датчиків до мікроконтролера Arduino UNO. Наступним етапом є написання програми в середовищі Arduino IDE, яка буде виконувати аналіз отриманої інформації з датчиків та забезпечувати своєчасне реагування на отримані дані.

Цей підхід дозволяє створити гнучку та ефективну систему для моніторингу та управління процесом зрошення.

### 5.2.1 Створення макету системи автоматичного забору води та зрошення

Кожна сільськогосподарська культура потребує індивідуального догляду та специфічного режиму поливу [29]. Одним рослинам необхідна волога ґрунтова маса й сухе повітря, іншим — навпаки. Усі ці параметри враховуються у системі автоматичного зрошення.

Аналіз популярних сільськогосподарських культур для вирощування в теплицях:

**Огірки.** Огірки є вологолюбною культурою, яка потребує як вологої ґрунту, так і високої вологості повітря. Особливо важливий полив у період плодоношення. Температура води має бути теплою, не рекомендується використовувати холодну воду з колодязя. Норма поливу: 2–5 літрів води на одну рослину, залежно від ґрунту та погодних умов. Рекомендується крапельний полив. Оптимальна вологість повітря: 70–80%.

**Томати.** Томати віддають перевагу вологому ґрунту та сухому повітрю. Полив проводиться раз на три дні, але має бути рясним. Норма поливу: 7–10 літрів води на одну рослину для глибокого зволоження ґрунту. Рекомендується мульчувати ґрунт. Оптимальна вологість повітря: 55–60%.

**Перець.** Перець потребує регулярного поливу невеликими порціями. Норма поливу: 2–4 літри води на одну рослину щодня. Ґрунт бажано мульчувати. Оптимальна вологість повітря: 60–70%.

**Капуста.** Капуста є вологолюбною культурою, яка потребує частого та рясного поливу. Норма поливу: 5–7 літрів води на одну рослину кожні 2–3 дні. Температура води для поливу може бути прохолодною. Оптимальна вологість повітря: 70%. Особливості поливу під час вегетації та плодоношення.

У період вегетації та плодоношення рослини потребують більшої кількості води, що пов'язано зі збільшенням зеленої маси та ростом кореневої системи. Отримані дані дозволяють більш ефективно використовувати воду та забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

Дані для програми поливу:

На основі отриманої інформації створено таблицю норм поливу залежно від стадії росту рослин.

Таблиця 5.1 – Кількість води для різних рослин

| № | Рослина | Початок росту<br>(літри на 1<br>рослину) | Веgetація (літри<br>на 1 рослину) | Плодоношення (літри<br>на 1 рослину) |
|---|---------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Огірки  | 2 літри                                  | 3–4 літри                         | 4–5 літрів                           |
| 2 | Томати  | 5 літрів                                 | 7–8 літрів                        | 10 літрів                            |
| 3 | Перець  | 2 літри                                  | 3 літри                           | 4 літри                              |
| 4 | Капуста | 3 літри                                  | 5 літрів                          | 7 літрів                             |

На основі отриманих даних було розроблено програму автоматичного поливу для різних видів сільськогосподарських культур. Це позитивно впливає на їхній ріст, дозволяючи забезпечити індивідуальні потреби кожної рослини.

### 5.2.2 Підключення окремих датчиків до контролера Arduino UNO

На першому етапі з'єднується Arduino UNO з розширювальною платою Motor Shield, яка забезпечує керування одразу двома моторами. Ця плата дозволяє контролювати рух двигунів, а також, наприклад, відчиняти вентиляційні вікна у теплиці, коли температура перевищує допустимий рівень, за допомогою крокового двигуна.

Після підключення компонентів розпочинається написання скетча для управління чотирма моторами (рисунок 5.1). Цей скетч дозволяє синхронізувати роботу моторів із датчиками та забезпечити автоматизацію процесів у системі зрошення.

```
#include <AFMotor.h> //
AF_DCMotor motor3(3); //
AF_DCMotor motor4(4); //

void setup() {

    motor3.setSpeed(255);
    motor3.run(RELEASE);
    motor4.setSpeed(255);
    motor4.run(RELEASE);

}

void loop() {

    motor3.run(FORWARD);
    motor3.setSpeed(255);
    delay(2000);
    motor3.run(RELEASE);
    delay(5000); //

    motor4.run(FORWARD);
    motor4.setSpeed(255);
    delay(2000);
    motor4.run(RELEASE);
    delay(5000);
```

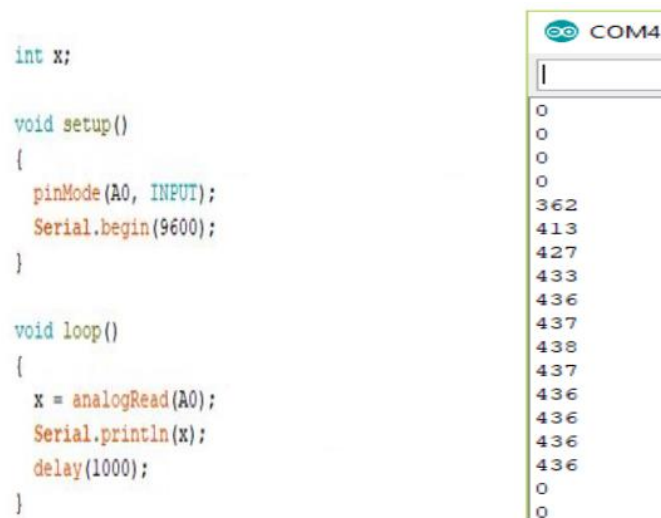
Рисунок 5.1 – Програма для управління двигунами.

Після написання програми її було протестовано на працездатність. Наступним кроком є підключення датчика рівня води Water Sensor, який має три контакти: + живлення, - земля, S – аналоговий вихід.

Підключення датчика до Arduino UNO: + підключається до контакту живлення +5V на платі Arduino. - підключається до контакту GND (земля). S – підключається до аналогового входу A0 на платі Arduino.

Після підключення датчика пишемо програму для зчитування даних із Water Sensor (рисунок 5.2, ліворуч). Програма дозволяє отримати значення сигналу з датчика та вивести його на монітор порту Arduino IDE.

Результати роботи датчика можна спостерігати у вікні Монітора порту Arduino IDE (рисунок 5.2, праворуч). Показники дозволяють визначити рівень води та оцінити, чи потрібна додаткова подача води для системи зрошення.



```

int x;

void setup()
{
  pinMode(A0, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  x = analogRead(A0);
  Serial.println(x);
  delay(1000);
}

```

Serial Monitor (COM4) output:

```

0
0
0
0
362
413
427
433
436
437
438
437
436
436
436
436
0
0
0

```

Рисунок 5.2 – Програма для датчика управління рівнем води.

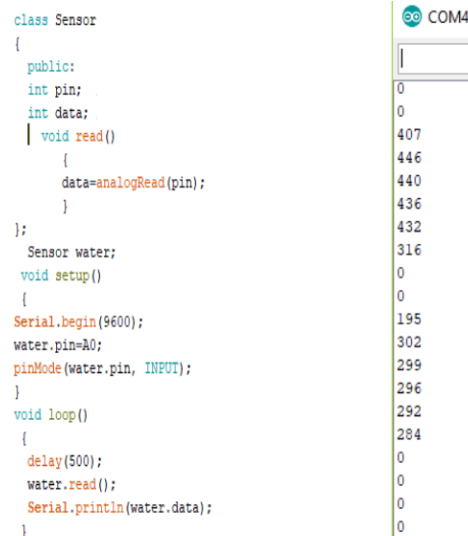
Підключення датчика вологості ґрунту Keyestudio до плати Arduino. Аналоговий датчик Keyestudio використовується для вимірювання вологості ґрунту, в який він занурений, забезпечуючи точні показання.

Підключення до Arduino:

- Під'єднайте контакт + до порту живлення +5V на платі Arduino.
- Під'єднайте контакт - до GND (земля).
- Під'єднайте контакт S до аналогового входу, наприклад, A1.

Після підключення датчика до Arduino створюємо програму для зчитування показань вологості ґрунту (рисунок 5.3, ліворуч). Код дозволяє отримати значення сигналу з датчика та передати його для відображення у Моніторі порту. Результати роботи датчика можна спостерігати у моніторі

порту Arduino IDE (рисунок 5.3, праворуч). Отримані дані допоможуть визначити, чи потрібно додатково зволожити ґрунт у системі автоматичного зрошення.



```

class Sensor
{
public:
  int pin;
  int data;
  void read()
  {
    data=analogRead(pin);
  }
};

Sensor water;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  water.pin=A0;
  pinMode(water.pin, INPUT);
}

void loop()
{
  delay(500);
  water.read();
  Serial.println(water.data);
}
  
```

COM4

```

0
0
407
446
440
436
432
316
0
0
195
302
299
296
292
284
0
0
0
0
  
```

Рисунок 5.3 – Програма для датчика вологості (зліва) і його показники (справа).

Цей етап дозволяє забезпечити точний контроль за вологістю ґрунту та налаштувати параметри системи для оптимального поливу рослин.

Датчик DHT-11 використовується для вимірювання температури та відносної вологості повітря. Він має три контакти, які необхідно підключити до Arduino.

Підключення датчика:

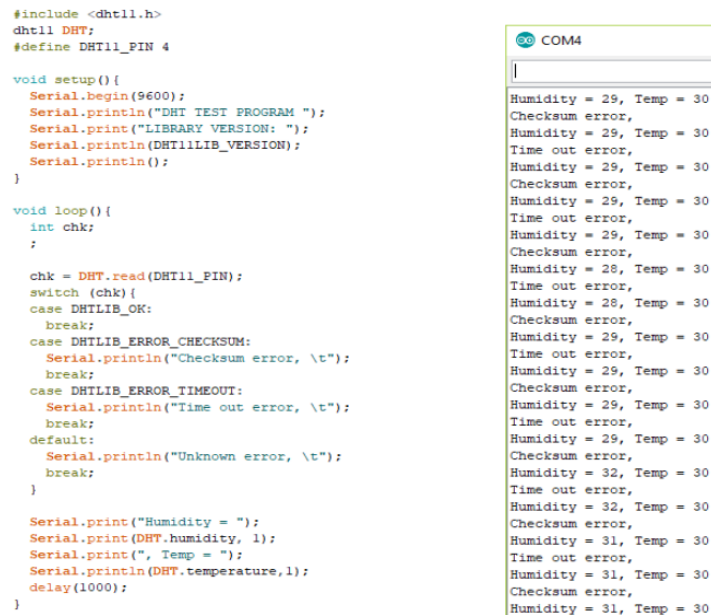
VCC – під'єднується до порту живлення 5В на платі Arduino.

GND – під'єднується до контакту GND (земля).

DATA – під'єднується до цифрового виводу pin 2.

Після підключення датчика до Arduino пишемо програму для зчитування показань температури та вологості (рисунок 5.4, ліворуч). Код дозволяє отримати дані з датчика та вивести їх у Монітор порту. Результати роботи датчика можна спостерігати у моніторі порту Arduino IDE (рисунок 5.4, праворуч). Отримані дані дозволяють контролювати рівень вологості

повітря та, за необхідності, активувати вентиляцію приміщення для забезпечення оптимальних умов.



```
#include <dht11.h>
dht11 DHT;
#define DHT11_PIN 4

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHT TEST PROGRAM ");
  Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
  Serial.println(DHT11LIB_VERSION);
  Serial.println();
}

void loop() {
  int chk;
  ;

  chk = DHT.read(DHT11_PIN);
  switch (chk) {
    case DHTLIB_OK:
      break;
    case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
      Serial.println("Checksum error, \t");
      break;
    case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
      Serial.println("Time out error, \t");
      break;
    default:
      Serial.println("Unknown error, \t");
      break;
  }

  Serial.print("Humidity = ");
  Serial.print(DHT.humidity, 1);
  Serial.print(", Temp = ");
  Serial.println(DHT.temperature, 1);
  delay(1000);
}
```

```
COM4
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 29, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 29, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 29, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 29, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 29, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 29, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 32, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 32, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 31, Temp = 30
Time out error,
Humidity = 31, Temp = 30
Checksum error,
Humidity = 31, Temp = 30
```

Рисунок 5.4 – Програма для датчика DHT-11 (зліва) і показники (справа).

Цей етап є ключовим для автоматизації процесу вентиляції та підтримання потрібного мікроклімату у теплиці.

У цьому проєкті передбачено функцію підігріву ґрунту. Для цього використовується додатковий датчик DHT-11, який надає інформацію про температуру ґрунту. Датчик встановлюється всередині труб діаметром 52 мм, які закопуються на глибину 20 см. Цими трубами подається тепле повітря з верхньої частини теплиці, оскільки під дахом повітря значно тепліше.

Завдяки вентилятору тепле повітря проходить через труби та нагріває ґрунт. Такий спосіб є економічно вигідним у порівнянні з використанням електричних або газових нагрівачів, які є значно дорожчими.

Модуль ESP8266 використовується для підключення Wi-Fi до Arduino UNO, що дозволяє створити віддалений доступ до проєкту системи автоматичного зрошення рослин.

### Процес налаштування ESP8266:

Необхідно під'єднати USB-TTL програматор до ESP8266.

Відкрити Arduino IDE, у меню вибрати необхідний приклад для ESP8266, завантажити програму через USB-TTL.

У скетчі вказати SSID (назву Wi-Fi мережі) та пароль. Після цього натиснути «Компілювати» і завантажити скетч.

Відкрити монітор порту Arduino IDE, вибрати швидкість 115200. Після підключення ESP8266 до Wi-Fi роутера у вікні з'явиться повідомлення «WiFi connected» і «Server started». Нижче буде вказано IP-адресу модуля (наприклад, 192.168.1.111). Для тестування роботи ESP8266 Скопіюйте IP-адресу модуля та введіть її у браузер, наприклад: <http://192.168.1.111/gpio/1>.

Для перевірки підключіть світлодіод через резистор до Arduino. Після відправки команди в браузері світлодіод має засвітитися. На рисунку 5.5 наведено приклад програми для ESP8266.

```

1 #include <ESP8266WiFi.h>
2
3 const char* ssid = "YOUR_SSID";
4 const char* password = "YOUR_PASSWORD";
5
6 int ledPin = 2;
7 WiFiServer server(80);
8
9 void setup() {
10   Serial.begin(115200);
11   delay(10);
12
13   pinMode(ledPin, OUTPUT);
14   digitalWrite(ledPin, LOW);
15
16   Serial.println();
17   Serial.println();
18   Serial.print("Connecting to ");
19   Serial.println(ssid);
20   WiFi.begin(ssid, password);
21
22   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
23     delay(500);
24     Serial.print(".");
25   }
26   Serial.println("");
27   Serial.println("WiFi connected");
28
29   server.begin();
30   Serial.println("Server started");
31
32   Serial.print("Use this URL to connect: ");
33   Serial.print("http://");
34   Serial.print(WiFi.localIP());
35   Serial.println("/");
36 }
37
38 void loop() {
39   WiFiClient client = server.available();
40   if (!client) {
41     return;
42   }
43
44   // ...
45   Serial.println("new client");
46   while(!client.available()){
47     delay(1);
48   }
49
50   String request = client.readStringUntil('\r');
51   Serial.println(request);
52
53   client.flush();
54
55   int value = LOW;
56   if (request.indexOf("/LED=ON") != -1) {
57     digitalWrite(ledPin, HIGH);
58     value = HIGH;
59   }
60   if (request.indexOf("/LED=OFF") != -1){
61     digitalWrite(ledPin, LOW);
62     value = LOW;
63   }
64
65   //digitalWrite(ledPin, value);
66
67   client.println("HTTP/1.1 200 OK");
68   client.println("Content-Type: text/html");
69
70   client.println("");
71   client.println("<!DOCTYPE HTML>");
72   client.println("<html>");
73
74   client.print("Led pin is now: ");
75
76   if(value == HIGH) {
77     client.print("On");
78   } else {
79     client.print("Off");
80   }
81
82   client.println("<br><br>");
83   client.println("Click <a href=\"/LED=ON\">here</a> turn the LED on pin 2 ON<br>");
84   client.println("Click <a href=\"/LED=OFF\">here</a> turn the LED on pin 2 OFF<br>");
85
86   client.println("</html>");
87
88   delay(1);
89   Serial.println("Client disconnected");
90   Serial.println("");
91 }

```

Рисунок 5.5 – Програма для керування Wi-Fi модулем ESP 8266.

Для роботи модуля реального часу DS3231 необхідно виконати його підключення до контролера Arduino UNO і створити відповідну програму для взаємодії з ним:

Під'єднати контакт VCC до виходу 5В на платі Arduino. Контакт GND підключити до землі (GND) на платі.

Контакт SDA модуля підключити до аналогового входу A4 на Arduino. Контакт SCL модуля підключити до аналогового входу A5 на Arduino.

Після підключення модуля до Arduino необхідно написати програму, яка дозволить взаємодіяти з DS3231. У програмі реалізується встановлення поточного часу (години, хвилини, секунди). Зчитування поточного часу та дати.

На рисунку 5.6 наведено приклад програми для роботи з модулем реального часу DS3231. Цей скетч дозволяє встановлювати та зберігати дані про час у пам'яті модуля, зчитувати та виводити час у монітор порту Arduino IDE для перевірки коректності роботи модуля.

```
#include <DS3231.h>
DS3231 rtc(SDA, SCL);

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    rtc.begin();

    // Установка времени
    rtc.setDOW(FRIDAY);
    rtc.setTime(16, 29, 0);
    rtc.setDate(31, 8, 2019);
}
void loop()
{
    Serial.print(rtc.getDOWStr());
    Serial.print(" ");

    Serial.print(rtc.getDateStr());
    Serial.print(" -- ");

    Serial.println(rtc.getTimeStr());

    delay (1000);
}
```

Рисунок 5.6 – Програма для керування модулем реального часу.

Після написання окремих програм для кожного компонента, що використовується в системі автоматичного зрошення рослин, наступним етапом є інтеграція всіх частин у єдину програму.

## 5.2 Моделювання системи автоматичного забору води та зрошення в програмі Tinkercad

Для перевірки функціональності системи автоматичного зрошення рослин було проведено її моделювання у програмі **Tinkercad**. Цей інструмент надає можливість створювати віртуальні схеми, тестувати роботу датчиків і компонентів, а також перевіряти коректність написаного програмного забезпечення. Це важливий етап розробки, оскільки він дозволяє перевірити правильність написаного коду та уникнути можливих пошкоджень фізичних компонентів через помилки у програмі. Отож послідовно будемо проводити підключення датчики. Схема підключення датчика температури показана на рисунку 5.7.

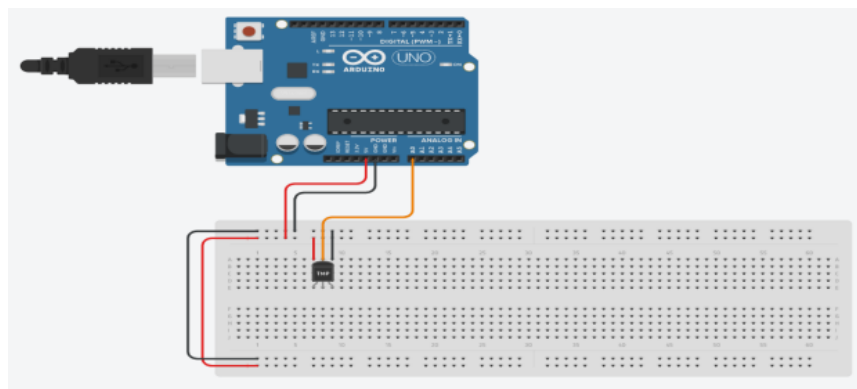


Рисунок 5.7 – Схема підключення датчика температури.

Наступним етапом є підключення датчика вологості ґрунту до системи моделювання. У програмі Tinkercad датчик вологості ґрунту може бути представлений як потенціометр, що дозволяє імітувати зміну рівня вологості (рис. 5.8).

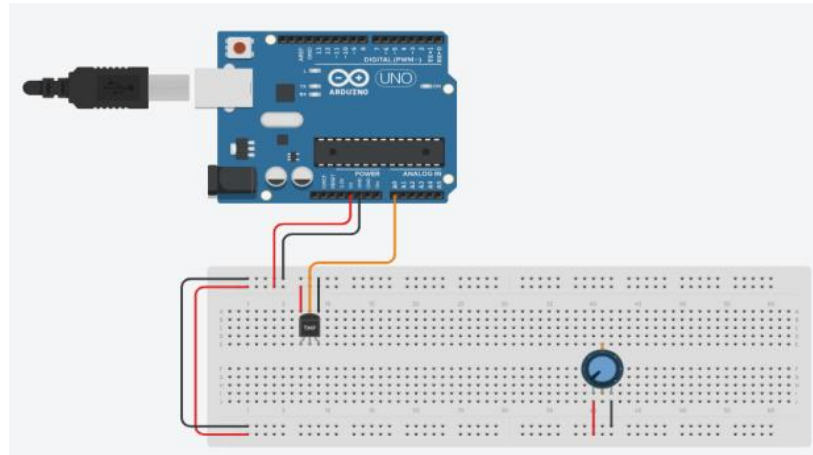


Рисунок 5.8 – Схема підключення датчика вологості ґрунту.

Наступним етапом є підключення двигуна для поливу рослин. Для коректної роботи двигун необхідно підключити через транзистор, який слугуватиме ключем для його управління. Додатково для наочності роботи підключаються світлодіоди через резистор (рис. 5.9).

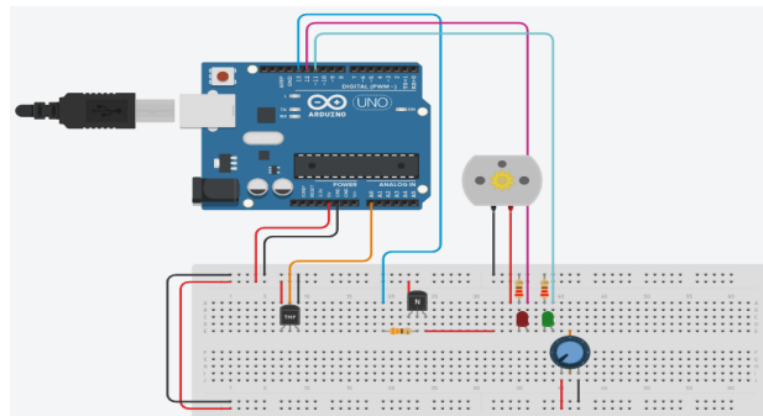


Рисунок 5.9 – Схема підключення двигуна і світлодіодів.

Наступним кроком є підключення екрану для отримання та відображення інформації з датчиків вологості та температури. Окрім того, необхідно забезпечити живлення для Arduino та датчиків (рис. 5.10). У цьому проєкті використовується акумулятор як джерело живлення.

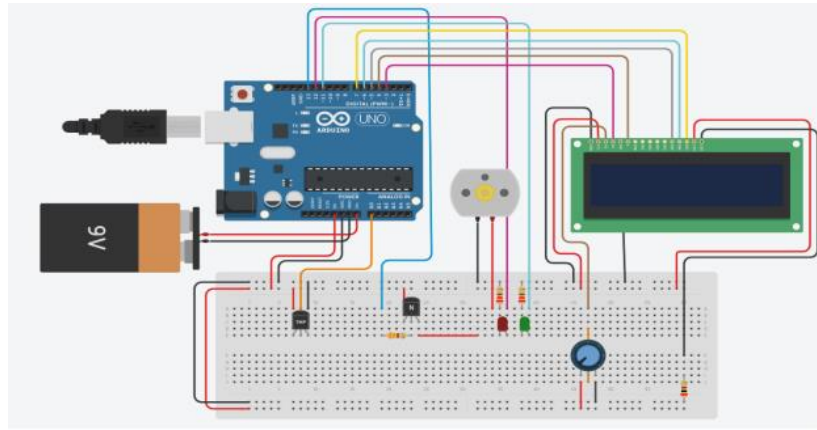


Рисунок 5.10 – Схема підключення дисплея та акумулятора.

Наступним етапом є підключення Wi-Fi модуля **ESP8266**, який дозволяє створити віддалений доступ до системи автоматичного забору води та зрошення. Це забезпечує можливість контролювати систему через інтернет або локальну мережу (рис. 5.11).

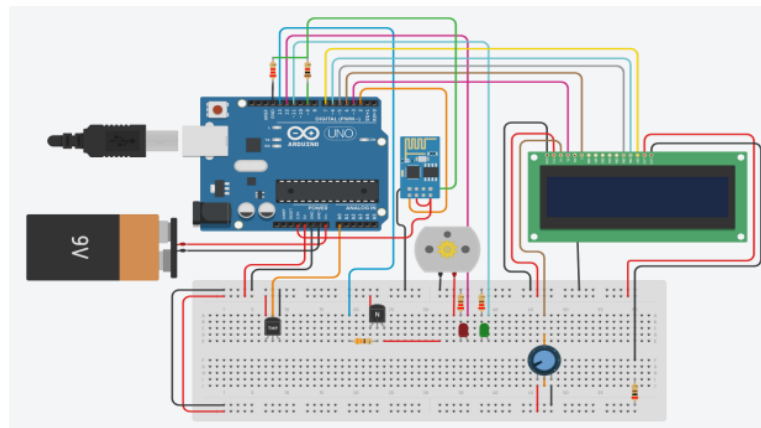


Рисунок 5.11 – Підключення ESP8266.

Також підключаємо датчик вологості навколишнього повітря і температури, завдяки якому будемо здійснювати провітрювання приміщення та підігрів ґрунту. Наступним підключаємо датчик реального часу для моніторингу дати і регулювання водозабору для різних типів рослин. Потім встановлюємо датчик рівня вологи, який буде показувати, скільки води

знаходиться в бочці, і даватиме за потреби команду на включення насоса для забору води зі свердловини.

Датчик DHT11 використовуватиметься для підігріву ґрунту. У теплиці тепле повітря накопичується під дахом, тому його використовуємо для підігріву ґрунту, що, у свою чергу, позитивно впливає на рослини. Цей спосіб надзвичайно економічний.

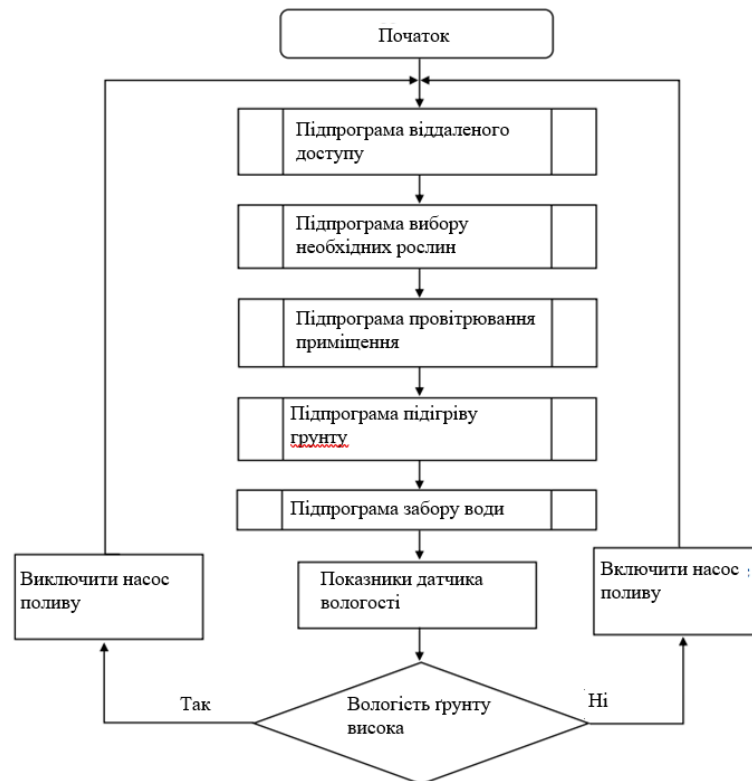


Рисунок 5.12 – Блок-схема програми.

Після перевірки готового скетча у програмі Tinkercad ми переконалися, що програма працездатна. Після цього приступаємо до збирання макета та перевірки програми на готовому пристрої системи автоматичного забору води та зрошення.

Після написання програми та моделювання системи будуємо блок-схему роботи програми та наочно показуємо процес роботи автоматизованої системи. Блок-схема програми представлена на рисунку 5.12.

У даній блок-схемі є п'ять підпрограм, котрі відповідають за такі функції:

- Підпрограма для керування за допомогою віддаленого доступу;
- Підпрограма для вибору необхідного виду рослини;
- Підпрограма для підігріву ґрунту;
- Підпрограма для провітрювання приміщення;
- Підпрограма для забору води.

Підпрограма для керування віддаленим доступом (рис. 5.13) реалізована за допомогою ESP8266, котрий підключається до сервера з допомогою Wi-Fi. Завдяки цьому керуючий системою може отримати доступ до сервера зі свого гаджета чи іншого пристрою. Це дозволяє спостерігати за роботою системи автоматичного забору води та поливу в реальному часі, виконувати, за потреби, певні налаштування системи.

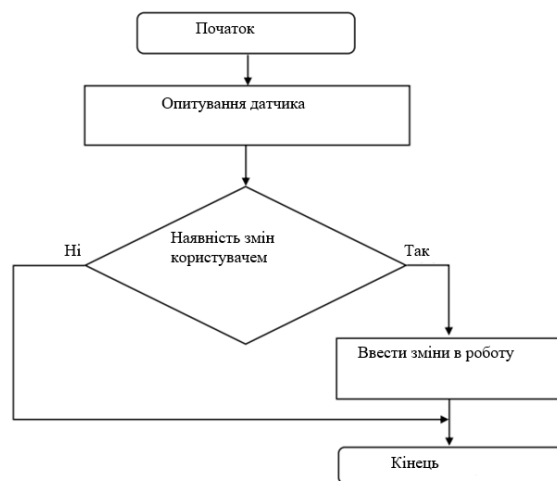


Рисунок 5.13 – Підпрограма віддаленого доступу.

Підпрограма для вибору потрібного типу рослини (рис. 5.14).

В алгоритмі роботи розробленої системи враховуються критерії різних типів рослин, таких як: томати, огірок, перець, капуста. Це важливо, оскільки життєвий цикл перелічених рослин відрізняється, а також кількість води та вологість повітря потрібно контролювати індивідуально для кожного виду.

Для цього розроблено програму, яка враховує особливості кожної рослини, щоб покращити якість рослин та підвищити врожайність

Ця підпрограма дозволяє системі гнучко налаштовувати параметри забору води та поливу залежно від обраного типу рослини.

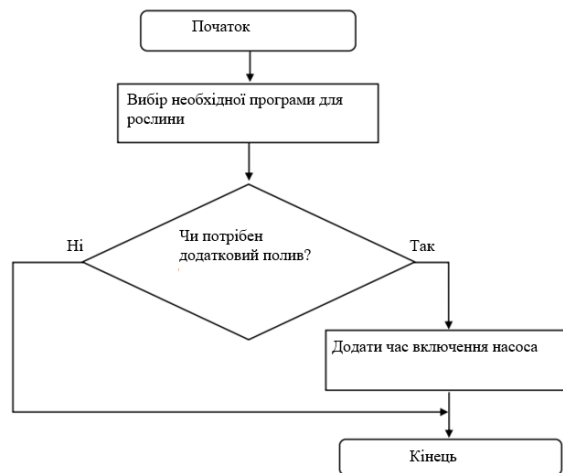


Рисунок 5.14 – Підпрограма вибору типу рослин.

Підпрограма провітрювання приміщення (рис. 5.15) реалізована за допомогою датчика температури та відносної вологості DHT11, який відправляє інформацію стосовно рівня вологості. На основі цих показників система автоматично контролює двигун для провітрювання приміщення.

Основна ціль підпрограми це забезпечити оптимальний рівень вологості у приміщенні та поліпшити умови для вирощування рослин.



Рисунок 5.15 – Підпрограма провітрювання приміщення.

Нами розроблена підпрограма для контролю і регулювання температури ґрунту в теплиці (рис. 5.16). Вона включає складальця з датчика температури ґрунту DS18B20 і вентилятора, котрий нагнітає повітря у труби.

Програма працює наступним за певним алгоритмом. Спочатку відбувається зчитування даних із датчика DS18B20. Якщо температура ґрунту знижується до заданого порогу, вмикається вентилятор. Вентилятор нагнітає тепле повітря, яке проходить через труби, забезпечуючи нагрівання ґрунту.

Основне завдання даної частини системи - підтримувати оптимальну температуру ґрунту для якісного росту рослин і забезпечення енергоефективного способу підігріву без використання додаткових джерел енергії.

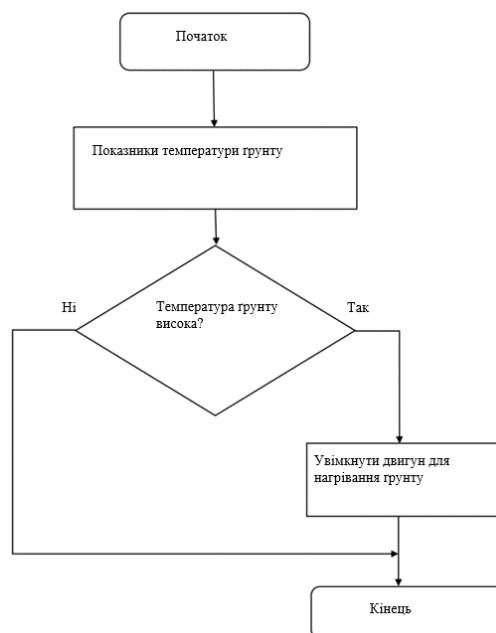


Рисунок 5.16 – Підпрограма підігріву ґрунту.

Також розроблена підпрограма, яка відповідає за контроль рівня води в ємності, що використовується для поливу рослин (рис 5.17).

Підпрограма включає датчик рівня води з верхнім та нижнім рівнями води, насос, котрий використовується для заповнення ємності водою

відповідно до показників датчика. Датчик визначає, чи рівень води досяг нижньої межі, якщо так, то відбувається запуск насоса, котрий вимкнеться за досягнення верхнього рівня води. Ціль підпрограми - забезпечити постійну наявність достатньої кількості води для поливу рослин та автоматизувати процес наповнення ємності, зменшуючи потребу в ручному контролі.

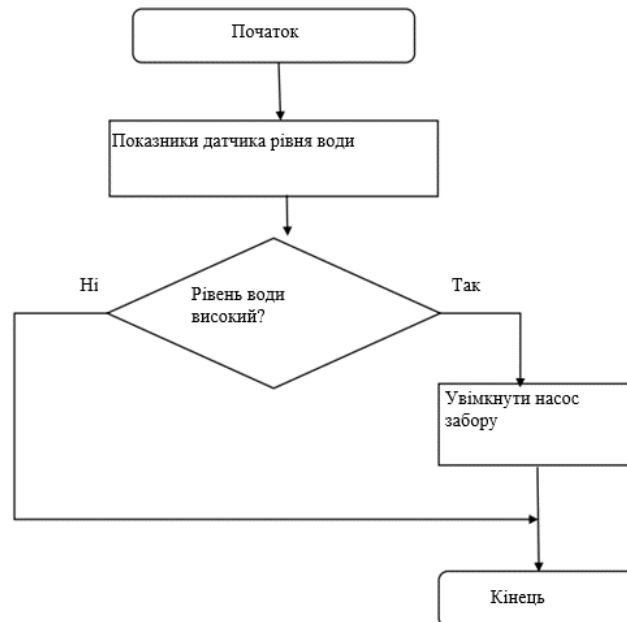


Рисунок 5.17 – Підпрограма контролю рівня води.

Після написання програми та її перевірки в середовищі моделювання Tinkercad, ми переконалися в її працездатності. Після цього була створена детальна блок-схема роботи системи автоматичного зрошення. З огляду на успішне моделювання, можна переходити до складання макета і тестування програми на реальному пристрої системи автоматичного зрошення.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням**

#### Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини. Дотримуватися правил особистої гігієни.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

## **6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт**

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

- виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;
- розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;
- встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);
- встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.
- в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

### **6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування**

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появі диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

#### **6.4 Розрахунок захисного заземлення**

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга

дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору  $R$  захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

- обчислюємо опір пристрою заземлення  $R_z$ . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення  $R_z$ , складають для установок до 1000 В: 10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА; 4 Ом у всіх інших випадках.
- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача  $R_{ш}$ :

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e - R_z}, \quad (6.1)$$

де  $R_e$  – опір розтікання природного заземлювача, Ом;  $R_z$  – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (6.2)$$

де  $n$  – кількість вертикальних електродів, штук;  $S$  – площа цеху,  $\text{м}^2$ ;  $a'$  – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (6.3)$$

де  $l_c$  – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;  $a$  – ширина сторони цеху, м;  $b$  – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального  $R_v$  та горизонтального  $R_r$  електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left( \ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (6.4)$$

де  $\rho_{роз.в}$  – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$l_v$  – довжина вертикальних стрижневих електродів, м;  $d$  – діаметр електрода, мм;

$t$  – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_r = \frac{\rho_{роз.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_r} \cdot \ln \frac{2l_r}{0,5 \cdot b' \cdot r}, \quad (6.5)$$

де  $\rho_{роз.г}$  – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$l_c$  – довжина горизонтальних електродів, м;  $b'$  – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів  $\eta_v$  та  $\eta_r$  та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_r = \frac{R_v \cdot R_r}{R_v \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_v \cdot n}, \quad (6.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею  $S=5000 \text{ м}^2$  і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів

довжиною  $l_b=5$  м, діаметром  $d=12$  мм і відстанню між ними  $a'=5$  м та горизонтальних електродів (сталеві смуги перетином 440 мм) на глибині  $t=0,8$  м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема  $\rho=20$  Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки  $K_v$  і горизонтальної прокладки  $K_g$  приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району  $K_v=1,3$ ,  $K_g=2,5$ ).

Таблиця 6.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

| Відношення відстані між вертикальним і електродами до їх довжин | Число вертикальних електродів |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                                 | 2                             | 4        | 6        | 10       | 20       | 40       | 60       | 100      |
| Вертикальні електроди розміщені в ряд                           |                               |          |          |          |          |          |          |          |
| 1.                                                              | 0,8<br>5                      | 0,7<br>7 | 0,7<br>2 | 0,6<br>2 | 0,4<br>2 | -        | -        | -        |
| 2.                                                              | 0,9<br>4                      | 0,8<br>0 | 0,8<br>4 | 0,7<br>5 | 0,5      | -        | -        | -        |
| 3.                                                              | 0,9<br>6                      | 0,9<br>2 | 0,8<br>8 | 0,8<br>2 | 0,6<br>8 | -        | -        | -        |
| Вертикальні електроди розміщені по контуру                      |                               |          |          |          |          |          |          |          |
| 1.                                                              | -                             | 0,4<br>5 | 0,4<br>0 | 0,3<br>4 | 0,2<br>7 | 0,2<br>2 | 0,2<br>0 | 0,1<br>9 |
| 2.                                                              | -                             | 0,5<br>5 | 0,4<br>8 | 0,4<br>0 | 0,3<br>2 | 0,2<br>9 | 0,2<br>7 | 0,2<br>3 |
| 3.                                                              | -                             | 0,7<br>0 | 0,6<br>4 | 0,5<br>6 | 0,4<br>5 | 0,3<br>9 | 0,3<br>6 | 0,3<br>3 |

Таблиця 6.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

| Число заземлювачів | Число вертикальних електродів |      |      |                                 |      |      |
|--------------------|-------------------------------|------|------|---------------------------------|------|------|
|                    | 1.                            | 2.   | 3.   | 1.                              | 2.   | 3.   |
|                    | Електроди, розміщені в ряд    |      |      | Електроди, розміщені по контуру |      |      |
| 2                  | 0,85                          | 0,91 | 0,94 | -                               | -    | -    |
| 4                  | 0,73                          | 0,83 | 0,89 | 0,69                            | 0,78 | 0,85 |

|     |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| 6   | 0,65 | 0,77 | 0,85 | 0,61 | 0,73 | 0,80 |
| 10  | 0,59 | 0,74 | 0,81 | 0,56 | 0,68 | 0,76 |
| 20  | 0,48 | 0,67 | 0,76 | 0,47 | 0,63 | 0,71 |
| 40  | -    | -    | -    | 0,41 | 0,58 | 0,66 |
| 60  | -    | -    | -    | 0,39 | 0,55 | 0,64 |
| 100 | -    | -    | -    | 0,36 | 0,52 | 0,62 |

Таблиця 6.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

| Ґрунт    | Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м |
|----------|----------------------------------------------------|
| Пісок    | 700                                                |
| Супісок  | 300                                                |
| Суглинок | 100                                                |
| Глина    | 40                                                 |
| Чорнозем | 20                                                 |
| Торф     | 20                                                 |

Таблиця 6.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів  $K_r$ ,  $K_v$  за кліматичними зонами

| Кліматична зона | Тип заземлювачів                                                                                       |                                                                                                   |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, $K_r$ | Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, $K_v$ |
| I               | 4,5–7                                                                                                  | 1,8–2                                                                                             |
| II              | 3,5–4,5                                                                                                | 1,6–1,8                                                                                           |
| III             | 2,5–4                                                                                                  | 1,4–1,6                                                                                           |
| IV              | 1,5–2                                                                                                  | 1,2–1,4                                                                                           |

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{\text{роз.в}} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{\text{роз.в}} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_{\text{е}} = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначимо необхідний опір штучного заземлювача  $R_{\text{ш}}$ :

$$R_{\text{ш}} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (6.2), (6.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_{\text{г}} = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (6.4), (6.5) розраховуємо опори розтікання вертикального  $R_{\text{в}}$  та горизонтального  $R_{\text{г}}$  електродів:

$$R_{\text{в}} = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{г}} = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталевієї смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм<sup>2</sup>, занурених у землю на 0,8.

## ВИСНОВКИ

У роботі була розроблена, змодельована, виготовлена та описана система автоматичного забору води та зрошення рослин.

Проведено аналіз актуальності теми роботи. Також розглянуто найбільш популярні режими зрошення для використання у системах автоматичного поливу. На основі отриманих даних було обрано метод крапельного зрошення.

Представлено та проаналізовано сучасний ринок систем автоматичного зрошення. Після аналізу готових рішень виявлено, що такі пристрої є затребуваними й актуальними, але вони не повністю задовольняють потреби користувачів. На основі отриманих результатів було розроблено нову систему автоматичного водозабору та рослин із корисними функціями.

Головною метою стало розроблення та створення системи автоматичного водозабору та зрошення для промислових і приватних теплиць, яка зможе повністю задовольнити потреби користувачів.

Базуючись на отриманій інформації та поставлених цілях, була спроектована структурна схема пристрою. Також було обрано компоненти, з яких мав складатися прототип системи автоматичного зрошення рослин.

Детально описано кожен елемент, що використовувався в проєкті. Крім того, було розглянуто програмне забезпечення для написання коду проєкту, а також програму для моделювання роботи системи зрошення рослин.

Розроблено програмне забезпечення для проєкту, проведено моделювання та перевірку її роботи. Після отримання позитивних результатів було створено готову систему автоматичного зрошення рослин.

Усі поставлені завдання були успішно виконані. Проведено аналіз, дослідження, моделювання та розробку готової системи автоматичного забору води та зрошення. Представлено робочий прототип, який у майбутньому зможе спростити життя користувачам і підвищити рівень автоматизації в галузі сільськогосподарського виробництва.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2017. 192 p..
2. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. Internet of Things for smart cities. IEEE Internet of Things Journal, 2021, vol. 8, no. 2, pp. 32–45.
3. Кравченко, М. І., Олексієнко, Р. В. Розробка IoT-рішень для сільського господарства. Наукові записки НТУУ «КПІ», 2020, №3, С. 15–20/
4. Петренко, С. І., Яковенко, Д. О. Автоматизовані системи зрошування на основі IoT: огляд рішень. Вісник ХНТУ. 2021. №1. С. 50–55.
5. Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., Woelfflé, S. Vision and Challenges for Realising the Internet of Things. European Commission, 2010. 156 p.
6. Gilchrist, A. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Apress, 2016. 250 p.
7. Дорошенко, В. П., Ткачук, А. І. Автоматизація систем поливу в сільському господарстві. Технічні науки. 2020. №4. С. 12–18..
8. Бондаренко, І. О. Інтернет речей: основні аспекти і застосування. Журнал автоматизації та моделювання. 2018. №5. С. 28–34.
9. Evans, D. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything. Cisco White Paper, 2011. 15 p..
10. Greengard, S. The Internet of Things. MIT Press, 2015. 232 p.
11. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 27–70.
12. Xu, L., He, W., Li, S. Internet of Things in Industries: A Survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014. Vol. 10, No. 4, pp. 2233–2243.

13. Banzi, M., Shiloh, M. Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. Maker Media, Inc., 2020. 262 p.
14. Monk, S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. McGraw Hill Professional, 2021. 194 p.
15. Кравченко, П. В., Іванов, О. В. Основи роботи з платформою Arduino. Вісник ХНУРЕ, 2020, №2, С. 18–25.
16. Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L. The Internet of Things: An Overview. Internet Society, 2015. 53 p..
17. Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., Porta-Gándara, M. Á. Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2014. Vol. 63, No. 1, pp. 166–176..
18. Chatzigiannakis, I., Vitaletti, A. Smart Watering: A Smart Irrigation System for Outdoor Use. Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2015. pp. 211–214..
19. Мельничук, М. І., Харчишин, О. Б. Індустрія 4.0: сучасні виклики та перспективи для України. Вісник НТУУ «КПІ». 2019. №3. С. 15–20.
20. Кузьменко, І. П., Дубовик, А. М. Стратегічні аспекти впровадження індустрії 4.0 в Україні. Економіка України. 2020. №10. С. 48–53..
21. Тихоненко, А. В., Мельник, С. І. Інтернет речей як основа сучасних автоматизованих систем. Вісник ХНУРЕ. 2019. №2. С. 24–30..
22. Захаренко, О. М., Гончарук, О. П. Концепція інтернету речей у контексті цифрової трансформації. Науковий вісник Полтавського університету. 2021. №4. С. 45–51.
23. Коваленко, Р. В., Олійник, Т. С. Інтернет речей: тенденції розвитку в Україні. Інформаційні системи та технології. 2020. №3. С. 35–42..
24. Stanko, A., Wieczorek, W., Mykytyshyn, A., Holotenko, O. and oth. Real-time air quality management: Integrating IoT and Fog computing for

effective urban monitoring - CEUR Workshop ProceedingsThis link is disabled., 2024, 3742, pp. 337–357

25. Савчук, І. Г., Лапшин, М. М. Використання інтернету речей у сучасних інформаційних системах. Комп'ютерні науки. 2021. №2. С. 18–25..

26. Савченко, Л. Г., Кравець, О. П. Перспективи впровадження інтернету речей в Україні. Вісник Київського університету, 2021, №2, С. 35–40..

27. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.

28. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.

29. Петренко, С. І., Яковенко, Д. О. Автоматизовані системи зрошування на основі IoT: огляд рішень. Вісник ХНТУ, 2021, №1, С. 50–55.

30. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

31. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.