

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Автоматизація процесу зрошення полів фермерських господарств»**

Виконав: студент 4 курсу групи Акт-42сп

Спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва)

Зубкович Дмитро Михайлович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор Тригуба А.М.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Левонюк В.Р.

(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А. М. Тригуба

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Зубковичу Дмитру Михайловичу

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу зрошення полів фермерських господарств»

Керівник роботи Тригуба Анатолій Миколайович, професор  
затверджені наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: вимоги до процесу зрошення полів фермерських господарств; методика обґрунтування параметрів автоматизованих систем зрошення полів фермерських господарств.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) \_\_\_\_\_

Вступ.

1. Аналіз стану процесу зрошення полів та обґрунтування доцільності його автоматизації.

2. Аналіз об'єкту керування та вибір засобів.

3. Розробка та використання інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT.

4. Охорона праці.

5. Економічна ефективність від автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): аналіз стану процесу зрошення полів та обґрунтування доцільності його автоматизації; вибір засобів для інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT; схема запропонованої архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT; монтаж та налагодження інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT; результати тестування інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Тригуба А.М., зав. кафедри ІТ		
4	Тимочко В.О., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

7. Дата видачі завдання

27 листопада 2023 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	27.11-31.12.23	
2	Виконання другого розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього	01.02-05.03.24	
3.	Виконання третього розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього	06.03-24.04.24	
4.	Написання розділу «Охорона праці»	25.04-10.05.24	
5.	Написання розділу «Економічна ефективність»	11.05-23.05.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу	24-31.05.24	
7.	Завершення роботи в цілому	01 -10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Зубкович Д.М.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Тригуба А.М.  
(підпис)

УДК: 631.234:628.8

Автоматизація процесу зрошення полів фермерських господарств.

Зубкович Д.М. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 71 с. текст. част., 21 рис., 8 табл., 14 арк. ілюстраційного матеріалу, 58 джерел.

Виконано аналіз використання давачів ІоТ для систем зрошення у фермерських господарствах. Проведено аналіз наявних типів систем поливу рослин. Проведено аналіз існуючих автоматизованих систем зрошення полів фермерських господарств. Здійснено обґрунтування доцільності реалізації автоматизованої системи зрошення полів у фермерському господарстві.

Подано особливості автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств. Обґрунтовано принципи автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств. Здійснено вибір засобів для інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ.

Розроблено схему запропонованої архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ. Подана блок-схема запропонованої інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ. Розроблено заходи щодо монтажу та налагодження інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ. Здійснено тестування інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ.

Розроблено заходи із охорони праці. під час використання автоматизованої системи моніторингу стану помідорів у теплицях із використанням ІоТ-камер. Визначено економічну ефективність від автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОЦЕСУ ЗРОШЕННЯ ПОЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	8
1.1. Використання датчиків IoT для систем зрошення у фермерських господарствах .....	8
1.2. Аналіз наявних типів систем поливу рослин .....	11
1.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем зрошення полів фермерських господарств .....	15
1.4. Обґрунтування доцільності реалізації автоматизованої системи зрошення полів у фермерському господарстві .....	20
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ.....	21
2.1. Особливості автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств .....	21
2.2. Обґрунтування принципів автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств.....	27
2.3. Вибір засобів для інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT.....	28
2.3.1. Мікроконтролер ESP32.....	28
2.3.2. Датчик вологи DFRobot.....	30
2.3.3. Датчик температури DS18B20 .....	32
2.3.4. Датчик вологості повітря DHT22 .....	34
2.3.5. Датчик потоку води FS300A G3/4 дюйма.....	36
2.3.6. Електромагнітний клапан Hunter PGV-100G-B .....	37
2.3.7. Вибір інших пристроїв.....	39
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КРАПЕЛЬНОГО ЗРОШЕННЯ З ПІДТРИМКОЮ ІОТ .....	40
3.1. Схема запропонованої архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT .....	40

3.2. Блок-схема запропонованої інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT .....	43
3.3. Монтаж та налагодження інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT.....	45
3.3.1. Підключення датчика температури DS18B20 до ESP32.....	45
3.3.2. Порівняння показань датчиків із прогнозом погоди .....	48
3.4. Тестування інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT .....	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	54
4.1. Аналіз умов праці.....	54
4.2. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників від використання системи автоматизованого поливу рослин .....	55
4.3. Електробезпека під час використання системи автоматизованого поливу рослин .....	56
4.1. Пожежна безпека.....	58
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗРОШЕННЯ ПОЛІВ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ .....	60
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

## ВСТУП

Сільське господарство є одним із ключових секторів економіки України, що забезпечує продовольчу безпеку країни. Зрошення є важливим фактором, що впливає на врожайність сільськогосподарських культур. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році в Україні було зрошено лише 20% сільськогосподарських угідь [1]. Невчасне зрошення у посушливі роки призводить до значних втрат врожаю.

Автоматизація процесу зрошення полів фермерських господарств може значно підвищити його ефективність [52]. Завдяки автоматизованим системам зрошення можна отримати низку переваг для діяльності фермерських господарств. Автоматичні системи зрошення можуть точно розраховувати кількість води, необхідну для кожної рослини, що запобігає її надмірному витрачання. Вони можуть працювати без втручання людини, що значно економить час і ресурси. Завдяки точному і своєчасному зрошенню рослини отримують оптимальну кількість вологи, що призводить до кращого росту і розвитку, а також до підвищення врожайності. Надмірне зрошення може призвести до забруднення ґрунту і водних ресурсів. Автоматичні системи зрошення можуть допомогти зменшити цей вплив.

Отже, тема кваліфікаційної роботи, яка стосується автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств, є достатньо актуальною на даний час.

Впровадження запропонованої автоматизованої системи зрошення полів фермерського господарства забезпечить ефективне вирощування сільськогосподарських культур [24]. Це відбудеться завдяки точному і своєчасному зрошенню рослин, що отримають оптимальну кількість вологи. Це призведе до кращого росту і розвитку, а також до підвищення їх врожайності.

## РОЗДІЛ 1.

# АНАЛІЗ СТАНУ ПРОЦЕСУ ЗРОШЕННЯ ПОЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1. Використання датчиків IoT для систем зрошення у фермерських господарствах

Очікується, що до 2025 року ринок інтелектуального зрошення досягне 2,1 мільярда доларів США, зростаючи у середньому на 15,3%, оскільки агробізнес і фермери активно впроваджують технології розумного зрошення, щоб покращити свою повсякденну роботу.

Переваги розумного зрошення є зрозумілими та достатньо обґрунтованими. Завдяки моніторингу рівня вологості ґрунту інтелектуальна система зрошення дозволяє фермерам автоматизувати процеси зрошення та зменшити споживання води. Окрім того, домогтися більш ефективного споживання ресурсів. Інші переваги включають:

- ✓ економія коштів за рахунок мінімізації витрат води;
- ✓ зменшення обсягу фізичної праці виконавців;
- ✓ уніфікований підхід до врахування характеристик ґрунту, включаючи вологість і вміст поживних речовин;
- ✓ інтелектуальні зміни у процесі разі відхилень;
- ✓ покращення довгострокового ландшафту;
- ✓ впровадження інтернету речей для розумного зрошення.

Щоб досягти цих переваг, інтелектуальні системи зрошення рослин у фермерських господарствах широко використовують датчики IoT. Ці датчики, розміщені в полях, надсилають дані в реальному часі на центральний шлюз, який потім автоматично вмикає водяний насос щоразу, коли значення вологості чи температури виходять за межі попередньо визначеного діапазону.

Бездротові мережі з низьким енергоспоживанням, такі як LoRa, використовуються для розширення можливостей датчиків Інтернету речей і



забезпечують передачу інформації в режимі реального часу до центрального шлюзу та від нього. Усією розумною іригаційною системою може керувати кінцевий користувач через спеціальну хмарну платформу або мобільний додаток.

Залежно від типу даних, які збираються, датчики ґрунту, погоди та стану рослин IoT можна використовувати в розумному рішенні для зрошення (рис. 1.1) [48].

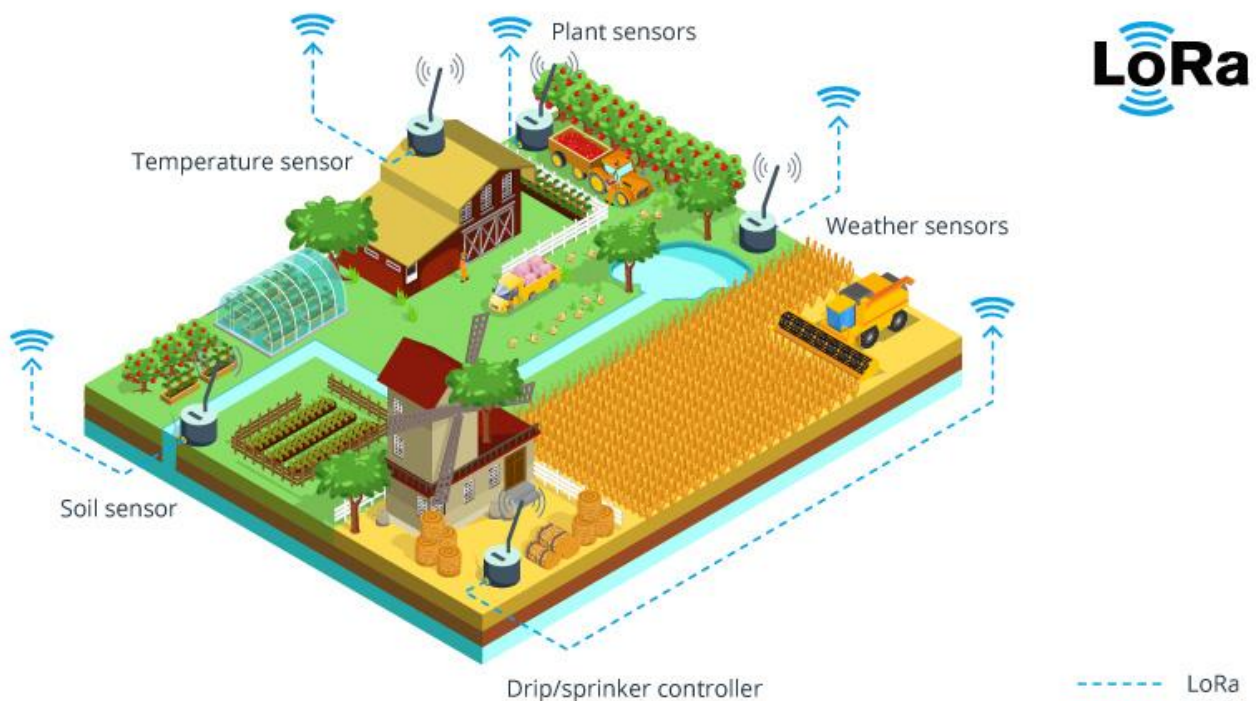


Рисунок 1.1 – Схема використання датчиків IoT для систем зрошення у фермерських господарствах [48]

Типи датчиків IoT для розумного зрошення сільськогосподарських угідь представлено на рис. 1.2.

Ґрунтові датчики збирають відповідні дані про об'ємний вміст води, солоність, електропровідність та інші важливі параметри. Розташовані в ключових точках поля, ці датчики надсилають дані в інтелектуальну систему зрошення води, щоб допомогти фермерам отримати швидке уявлення про стан ґрунту та передбачити потреби в зрошенні.

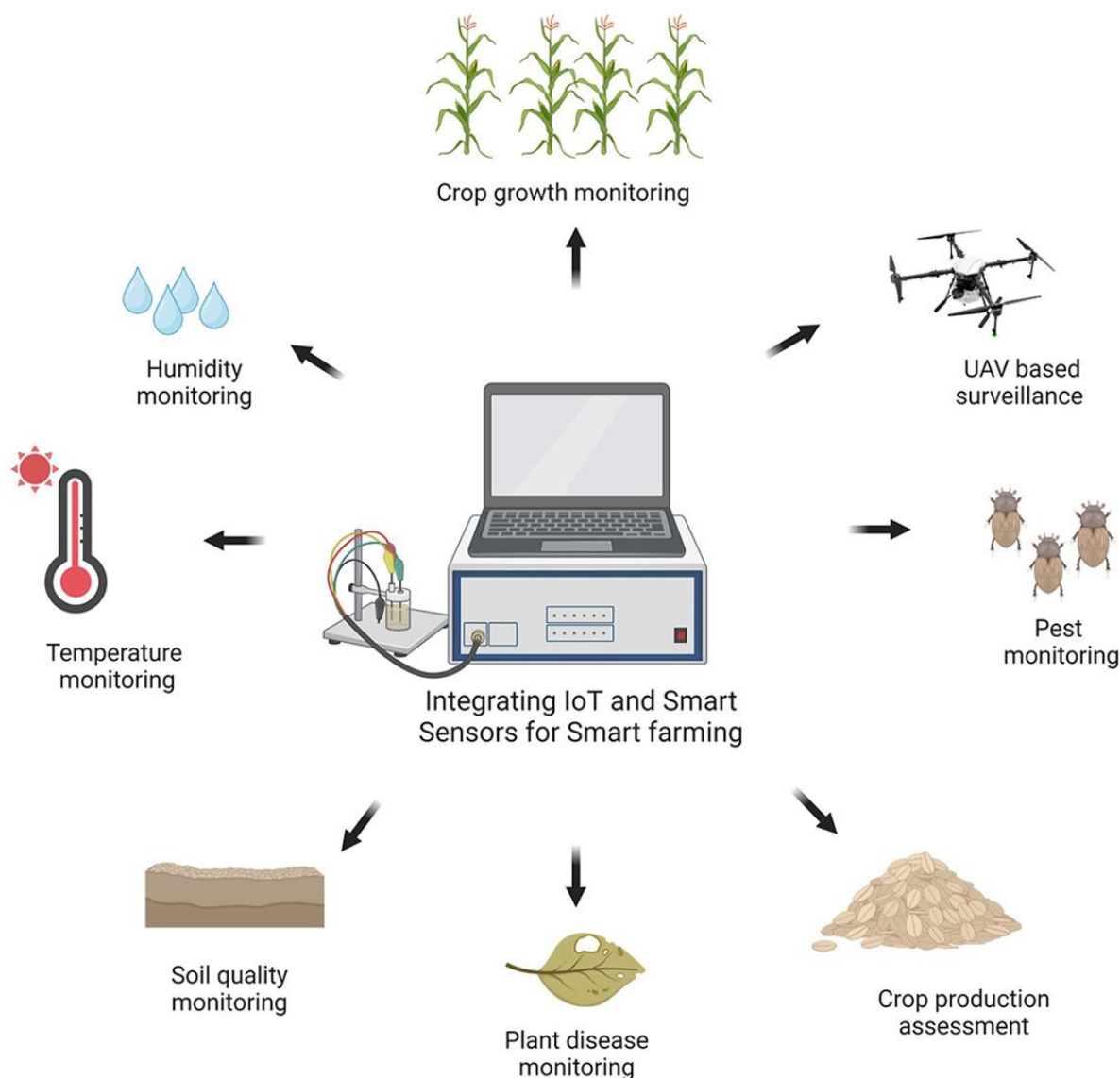


Рисунок 1.2 – Типи датчиків IoT для розумного зрошення сільськогосподарських угідь

Датчики погоди, які також називаються датчиками евапотранспірації (ЕТ), вимірюють ультралокальні умови навколишнього середовища, як-от випаровування води з поверхні ґрунту та транспірацію рослин. У поєднанні з даними, наданими рішенням на основі ГІС, ці датчики можуть допомогти створити точніші прогнози щодо води.

Датчики, що встановлюються на рослинах, все ще є новинкою, але вони дуже перспективні для вимірювання стану води в рослинах. Прикріплений до стебла або плоду рослини датчик може відстежувати дрібні зміни, такі як

набухання або звуження, і сповіщати фермерів про недостатній вміст води або тенденції до зниження врожайності на полі.

Иригаційну систему на основі IoT можна додатково розширити за допомогою функціональності, яка використовує передове програмне забезпечення. Ви можете налаштувати своє інтелектуальне рішення для зрошення води та інтегрувати API сторонніх розробників, щоб отримувати додаткові цінні дані та інформувати про прийняття рішень щодо зрошення сільськогосподарських угідь.

Один із способів зробити це – включити супутникові дані та звіти про погоду від метеостанцій, щоб краще спланувати ваші дії зрошення. Знаючи, що прогнозується дощ, система може зачекати й автоматично перерахувати необхідну кількість води на основі фактично отриманих опадів.

Точне картографування також допомагає агробізнесам розвивати розумне землеробство шляхом оптимізації витрат і отримання глибокої інформації. Багаторазові карти, які об'єднують дані з датчиків і зображення із супутників і дронів, дозволяють фермерам стежити за критичними характеристиками землі.

Штучний інтелект (ШІ) стає основою автоматизації у сільському господарстві. Окрім використання в нових, але все ще рідко використовуваних сільськогосподарських робототехнічних системах, штучний інтелект допомагає автоматизувати такі прості завдання, як маркування даних, створення звітів і надсилання сповіщень. Такі невеликі кроки до автоматизації за допомогою штучного інтелекту стає легше реалізувати, а їхній вплив на агробізнес є вирішальним і його можна побачити лише за кілька місяців.

## **1.2. Аналіз наявних типів систем поливу рослин**

Залежно від того, як вода розподіляється по полю, ви можете вибрати різні типи зрошувальних систем, які можна покращити за допомогою інтелектуального програмного забезпечення для зрошення. Найпоширенішими

є заливні, спринклерні, центропровідні, крапельні системи та системи мікрозрошення. Давайте подивимося, як технологічні рішення для розумного поливу можуть підвищити ефективність кожного типу.

### ***Полив***

У системі спринклерного зрошення, де вода прокачується через труби, а потім розподіляється за допомогою верхніх спринклерів високого тиску (рис. 1.3). Ці спринклери можна встановити в центрі поля або на рухомій платформі.



Рисунок 1.3 – Система спринклерного зрошення

Роль програмного забезпечення стосується наступного. Теплові та акустичні датчики дощу розпізнають дощ і вимірюють його інтенсивність, щоб запланувати наступний полив після того, як дощ припиниться. Інтелектуальна система поливу аналізує дані та розраховує водний бюджет на наступний місяць. Спринклери отримують автоматичні сповіщення, щоб запобігти надмірному використанню води та надмірному поливу через дощ.

### ***Центральний шарнірний полив***

Це найпопулярніша форма зрошення спринклерами, також відома як зрошення водяним колесом і круговим зрошенням (рис. 1.4). Типова центральна шарнірна система складається з довгого зрошувального трубопроводу, прикріпленого до центральної вежі та повільно рухається по полю по колу, зрошуючи рослини за допомогою розпилювачів.





Рисунок 1.4 – Система центрального шарнірного поливу

Роль програмного забезпечення цієї системи, яка керує коловими зрошувачами, отримує дані від датчиків у полі, щоб регулювати потік води або кут потоку. Це допомагає дістатися до рослин, які знаходяться далеко від джерела води, і врятувати найближчі від перезволоження. Аналізуючи погодні дані та вологість ґрунту, система планує зрошення та розраховує потенційну врожайність і час збору врожаю.

### ***Крапельний полив***

У цьому типі поливу вода подається безпосередньо до коренів рослин через труби з невеликими отворами, які називаються крапельницями (рис. 1.5). Це дозволяє фермерам значно зменшити випаровування та стік.

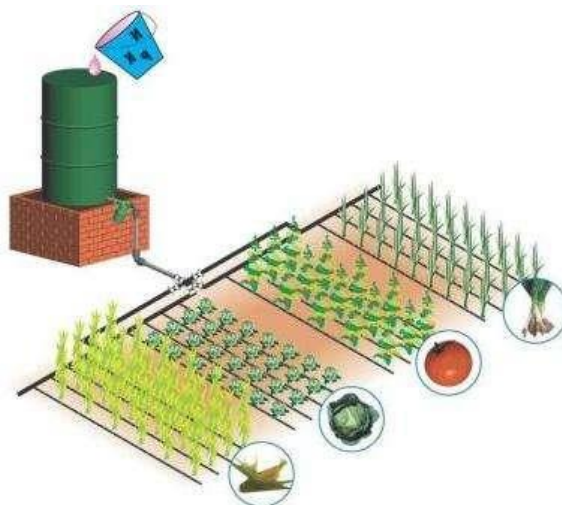


Рисунок 1.5 – Система центрального крапельного поливу

Роль програмного забезпечення для цього типу зрошення має основну проблему, яка стосується видимості процесу поливу. Система сповіщає користувача через додаток про початок і завершення поливу. Він також вимірює параметри ґрунту до і після зрошення.

### *Мікрополив*

Мікрозрошення – це система низького тиску та малого об'єму, яка забезпечує точний контроль поливу (рис. 1.6). Система подає воду безпосередньо до коренів рослини, покращуючи ефективність поливу та забезпечуючи рівномірний розподіл.

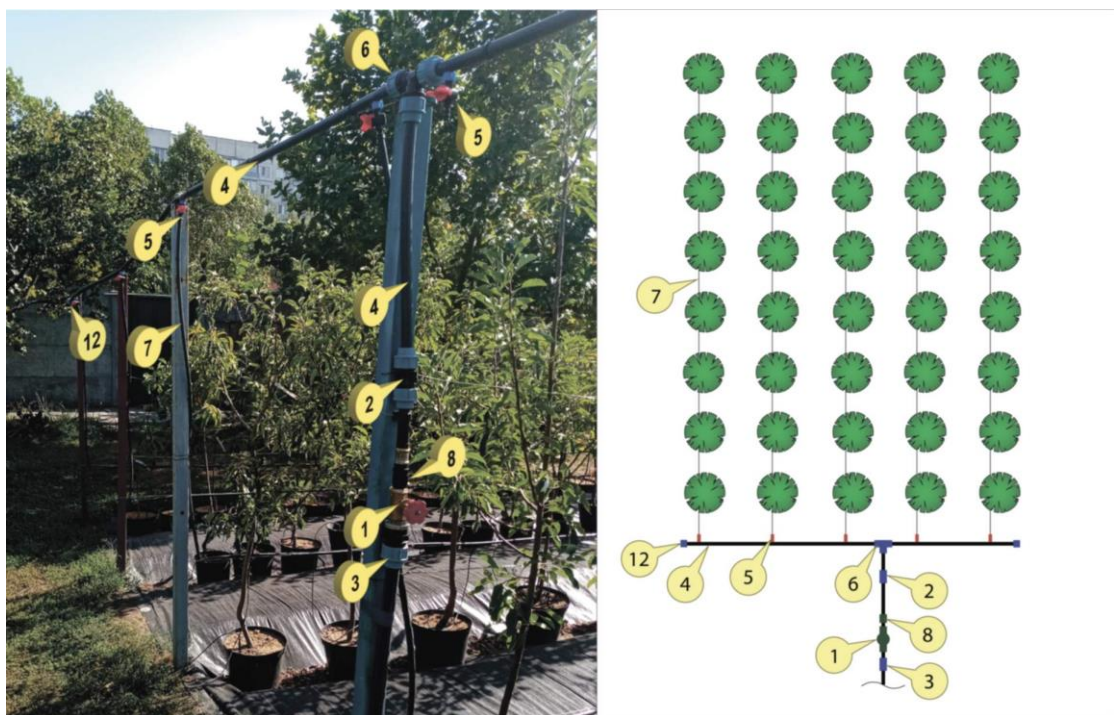


Рисунок 1.6 – Система мікрозрошення рослин

Роль програмного забезпечення – система може планувати точне дозування для кожної рослини, оскільки кількість води точно контролюється. Алгоритми штучного інтелекту можна застосовувати для розпізнавання рослин і відповідного регулювання поливу.

Незалежно від того, який тип зрошувальної системи ви виберете, оснащення її потужними датчиками Інтернету речей допоможе вам отримати на основі даних практичну інформацію та бути в курсі ваших потреб у зрошенні.

Оскільки фермерські господарства прагнуть до сучасних технологій та їх впровадження у практику, слід переглядати можливості різних напрямів їх розвитку. Багато інновацій уже працюють в галузі сільського господарства. Більшість проектів передбачають використання бездротової сенсорної мережі, яка збирає дані з різних датчиків, розміщених на різних вузлах, і надсилає їх через бездротовий протокол. Зібрані дані надають інформацію про різні фактори навколишнього середовища.

Моніторинг факторів навколишнього середовища не є повним рішенням для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Існує ряд інших факторів, які знижують продуктивність в більшій мірі. Тому для подолання цих проблем необхідно впроваджувати автоматизацію процесів зрошення рослин на полях.

Отже, щоб забезпечити вирішення всіх таких проблем, необхідно розробити інтегровану систему, яка буде забезпечувати автоматизований полив сільськогосподарських культур. Але повна автоматизація в зрошенні не досягається через різні проблеми. Хоча такі ідеї впроваджуються на дослідницькому рівні, однак вони недоступні для фермерів як продукт для отримання вигоди від ресурсів. Таким чином, заслуговує на увагу проектування автоматизованих систем зрошення з використанням Інтернету речей.

### **1.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем зрошення полів фермерських господарств**

На сільськогосподарський сектор припадає значна частка річного споживання води в країні, тому раціональне управління водними ресурсами в ньому відкриває значний потенціал для зменшення кількості споживаної води. Для більш ефективного використання обмежених прісних водних ресурсів, виробники сільськогосподарської продукції повинні не лише використовувати економічні методи доставки води до рослин [16], але й дотримуватися

економного графіку поливу, щоб рослини отримували більше води в потрібній кількості і в потрібний час. Це пов'язано із тим, що оскільки значна частка використання кожної поверхневої та джерельної води йде на сільськогосподарське зрошення, захист води в точці використання, завдяки зусиллям з підвищення ефективності та найкращому програмуванню зрошення, матиме величезний вплив на решту водних систем.

Впровадження інтелектуальної технології зрошення, що підвищує ефективність використання води, не тільки сприятиме фермерам у створенні додаткової прибутковості їхньої діяльності, але й разом з тим підвищить продуктивність сільського господарства в цілому і дасть цінний інструмент для захисного росту рослин і збереження здоров'я ґрунту.

Інтелектуальна система зрошення – це система, яка в основному базується на IoT [16]. Впровадження автоматизованих систем поливу полягає в тому, щоб допомогти фермерам збільшити врожайність шляхом забезпечення необхідної кількості води на полях в потрібний час. Цей підхід використовує недорогий пристрій для вимірювання вологості ґрунту та пристрій для регулювання температури.

Дані про вологість ґрунту, пов'язані з температурою, отримуються з вузла пристрою і передаються через Arduino на централізований сервер, який керує об'єктом. Дані з датчиків вологості ґрунту та датчика температури будуть надсилатися на Arduino [18]. Дані, зібрані з Arduino, будуть відправлятися на мобільний телефон через Bluetooth. Отримані дані зберігатимуться на персональному комп'ютері через Wi-Fi. Якщо користувач захоче керувати системою, сигнал буде надсилатися на Arduino через Bluetooth, як показано на рисунку 1.7.



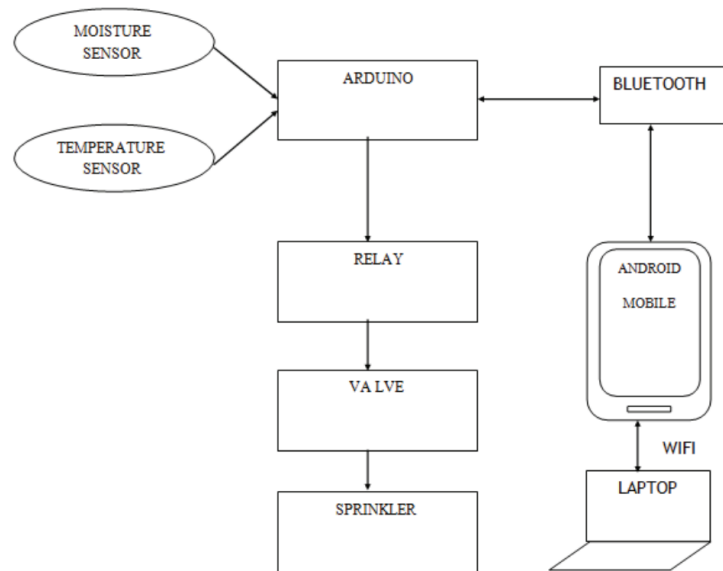


Рисунок 1.7 – Схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino

Датчики вологості та температури будуть підключені до передавача zigbee. Передавач zigbee збирає дані про пристрій і надсилає на приймач Zigbee, який підключений до Arduino (рис. 1.8).

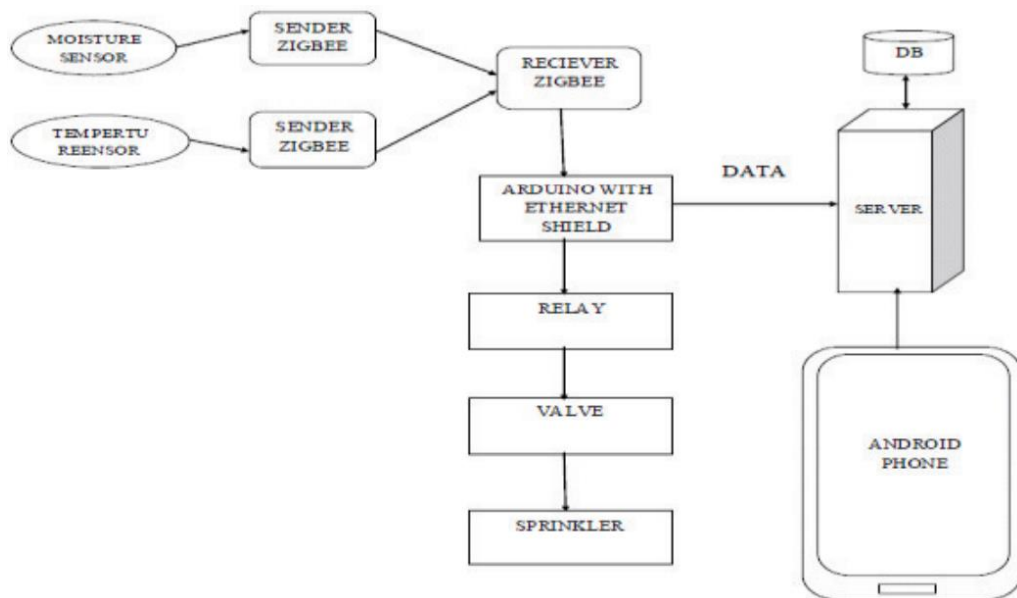


Рисунок 1.7 – Схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino та приймачем Zigbee

Інформація, зібрана з Arduino, буде зберігатися на віддаленому сервері, як показано на рисунку 1.7.

Датчики вологості та температури можуть бути підключені до Arduino [47]. Дані, зібрані з Arduino, будуть зберігатися на віддаленому сервері. Потім користувач може керувати системою, надсилаючи сигнал на Arduino через сервер, як показано на рис. 1.8.

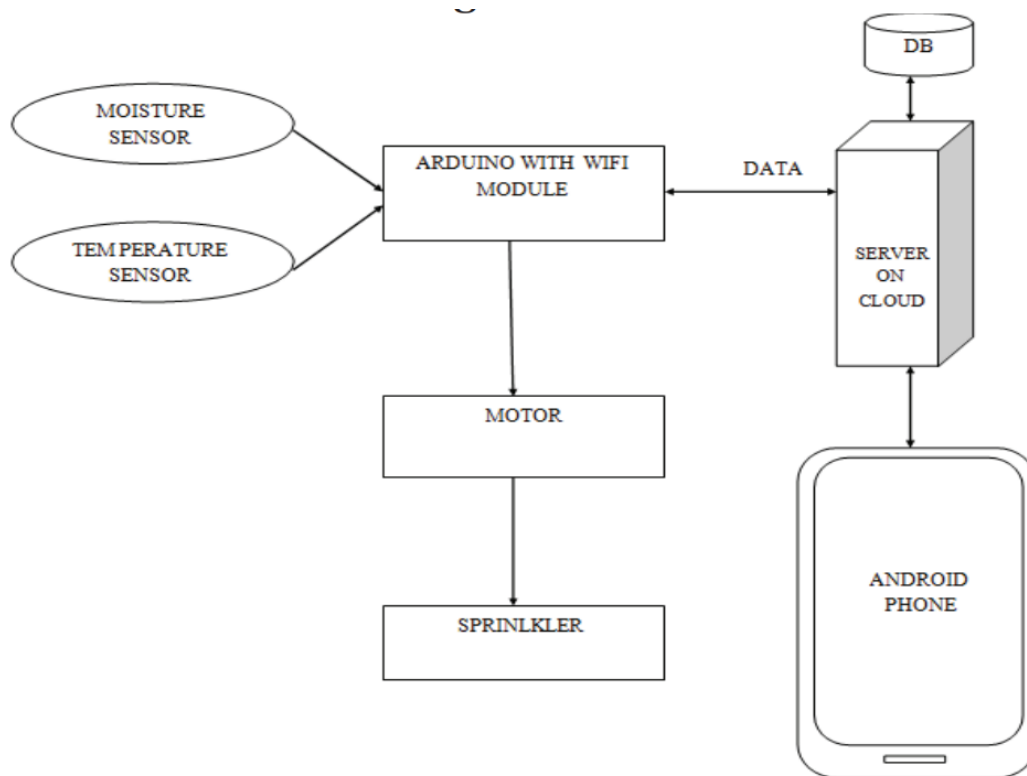


Рисунок 1.8 – Схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі підключення датчиків вологості та температури до Arduino [47]

З наведеного вище порівняння встановлено, що схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі підключення датчиків вологості та температури до Arduino є найбільш придатною для реалізації, оскільки до системи можна отримати доступ з будь-якого місця, а вартість також порівняно менша [1]. Виконаємо порівняння схем автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння схем автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino

Показник	Схема 1 (рис. 1.6)	Схема 2 (рис. 1.7)	Схема 3 (рис. 1.8)
Вартість	Менша	Більше	Менша
Пристрій Bluetooth коштує менше	Так	Ні	Так
Zigbee коштує більше	Ні	Так	Ні
Модуль Wi-Fi коштує менше	Так	Ні	Так
Доступність	Додаток майже завжди доступний користувачеві	Додаток майже завжди доступний користувачеві	Додаток майже завжди доступний користувачеві
Радіус доступу	Система може керуватися в межах 10-50 метрів	Система може керуватися в межах 250 метрів	Система може керуватися віддалено

Встановлено, що найкраща схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino залежить від ваших потреб і пріоритетів фермерських господарств. Схема на рис. 1.6 підходить, якщо фермерські господарства шукають найдешевше рішення з меншим радіусом доступу. Схема на рис. 1.7 підходить, якщо для фермерські господарства потребують більшого радіусу доступу, однак вони є дорожчі. Схема на рис. 1.8 підходить, якщо для фермерських господарств потрібна максимальна гнучкість, адже вона забезпечує найменшу вартість і найбільший радіус доступу.

Наведені дані в таблиці 1.1 є узагальненими і можуть відрізнятися залежно від конкретної реалізації.

#### **1.4. Обґрунтування доцільності реалізації автоматизованої системи зрошення полів у фермерському господарстві**

Доцільність реалізації автоматизованої системи зрошення полів у фермерському господарстві зумовлюється низкою її переваг. Для цього розглянемо переваги такої системи порівняно з традиційними методами зрошення і приведемо аргументи на користь автоматизації.

Автоматизована система зрошення полів дозволяє точно контролювати та регулювати подачу води в залежності від різних факторів, таких як вологість ґрунту, погода, вимоги культур тощо. Це дозволяє оптимізувати споживання води та забезпечує її економне використання, що особливо важливо в умовах обмеженості водних ресурсів.

Автоматизована система зрошення дозволяє забезпечити рівномірне розподілення води по всій площі поля, що сприяє оптимальному зростанню рослин, запобігає появі сухих або перезволожених ділянок. Це призводить до збільшення врожайності та покращення якості сільськогосподарської продукції.

Автоматизована система зрошення здатна працювати без прямої участі оператора, що дозволяє значно зменшити витрати на робочу силу. Операції з налаштування системи, контролю та моніторингу можуть проводитися віддалено за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Автоматизована система зрошення полів використовує сучасні датчики та системи контролю, що забезпечує високу точність та надійність її роботи. Це дозволяє уникнути помилок, забезпечує стабільну роботу системи та мінімізує ризик виникнення аварійних ситуацій.

З урахуванням зазначених переваг, впровадження автоматизованої системи зрошення полів у фермерському господарстві є доцільним, що дозволить забезпечити ефективне використання водних ресурсів, підвищити врожайність та якість продукції, знизити витрати на працю та підвищити надійність та точність зрошування рослин.

## РОЗДІЛ 2.

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ

#### 2.1. Особливості автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств

Сільське господарство завжди так чи інакше залежало від технологій. Люди використовували надзвичайно прості знаряддя для землеробства понад 12 000 років тому. Знаряддя господарювання часто виготовляли з дерева або кісток тварин [56]. З плином часу люди розробляли кращі знаряддя для землеробства. До другої аграрної революції в США трактори були звичним явищем на сільськогосподарських угіддях [17].

Вода необхідна для росту рослин і розподілу мінеральних поживних речовин. Зрошення передбачає подачу води в ґрунт за допомогою системи насосів, трубок і розпилювачів. Воно зазвичай використовується в регіонах, де випадає мало опадів [50]. Існує багато різних типів систем поливу, які представлені у розділі 1 нашої роботи. Для господарювання у фермерських господарствах, де необхідне ефективне використання води, використовують системи крапельного зрошення (рис. 2.1) [44].

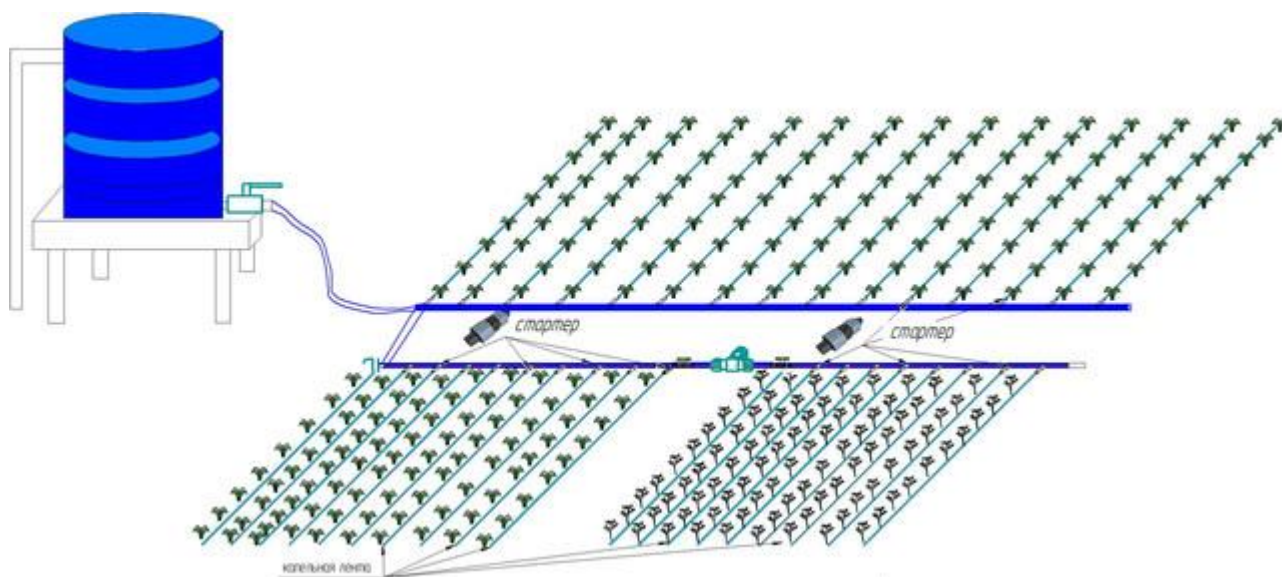


Рисунок 2.1 – Система крапельного зрошення

При крапельному зрошенні вода подається безпосередньо в ґрунт (близько до коренів рослин) у вигляді крапель з часом. Найвагомішою перевагою систем краплинного зрошення порівняно з іншими системами є економія води (рис. 2.2) [34, 46].

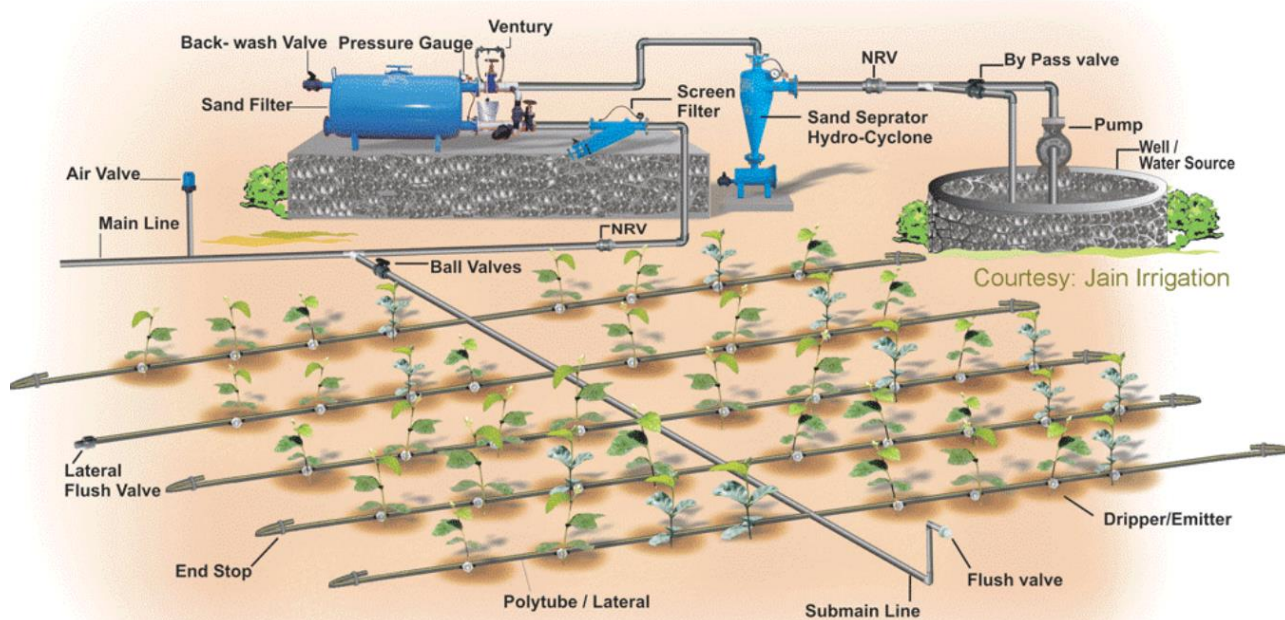


Рисунок 2.2 – Структурна модель системи крапельного зрошення [34]

Ми можемо використовувати Інтернет речей (IoT) у будь-якій програмі, яка потребує збору даних, автоматизації або контролю. Із зростанням популярності IoT зросла кількість ідей навколо розумних сільськогосподарських технологій (рис. 2.3) [51, 52].

Нами пропонується інтелектуальна система крапельного зрошення з підтримкою IoT за допомогою мікроконтролера ESP32 (рис. 2.4).

Система містить ESP32, електромагнітний клапан, датчик вологості ґрунту, датчик температури, датчик вологості повітря та датчик витрати води. Використовується мобільний додаток Vlynk IoT і веб-панель, щоб збирати дані про зрошення, увімкнути або вимкнути функцію автоматичного зрошення, вручну відкрити клапан, якщо потрібно, і побудувати графіки температури, вологості ґрунту та вологості повітря.

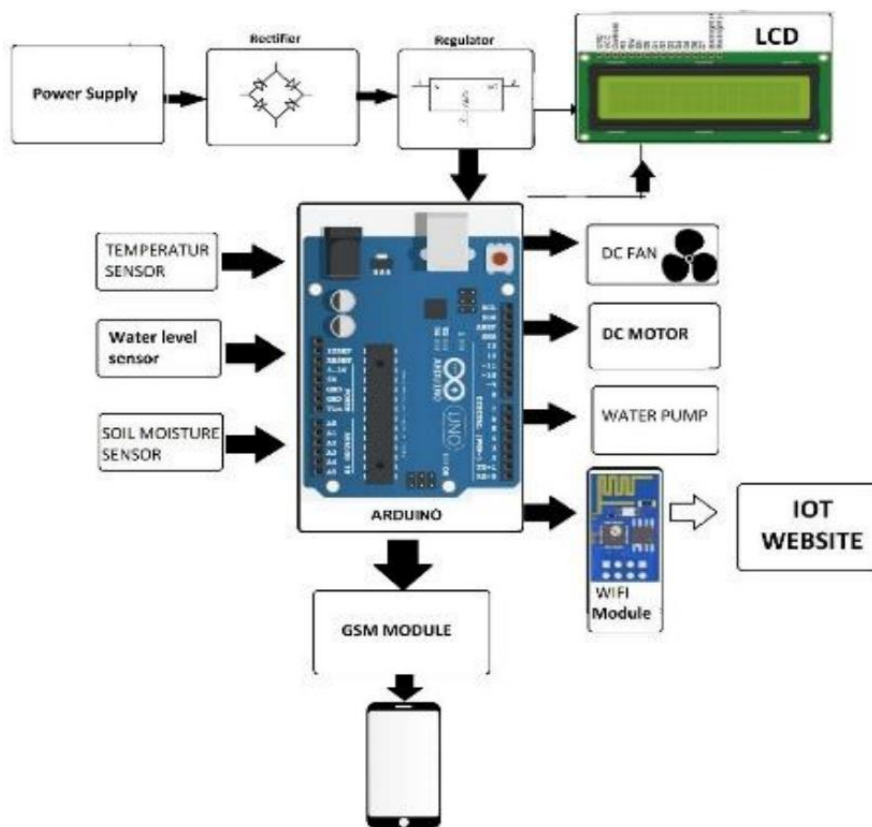


Рисунок 2.3 – Блок-схема додатків IoT [52]

Відкриття клапана дозволяє воді досягати коренів рослин. Датчик вологості ґрунту постійно перевіряє, чи сухий ґрунт. Якщо ґрунт сухий і температура ідеальна, ESP32 може автоматично відкрити клапан і зрошувати поле. За показаннями датчика вологості користувач може вимкнути функцію автоматичного поливу або включити її знову.

Були попередні роботи щодо розумних іригаційних систем і інтелектуальних систем крапельного зрошення [25, 49].



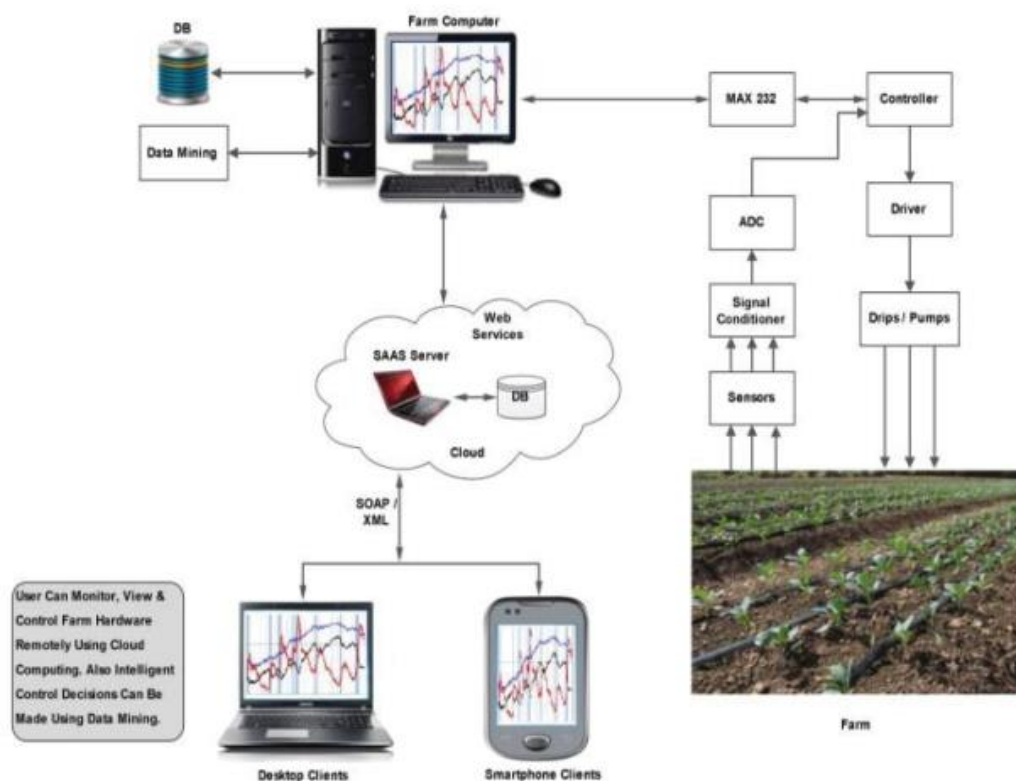


Рисунок 2.4 – Інтелектуальна система крапельного зрошення, що використовує хмару, Android і інтелектуальний аналіз даних [25]

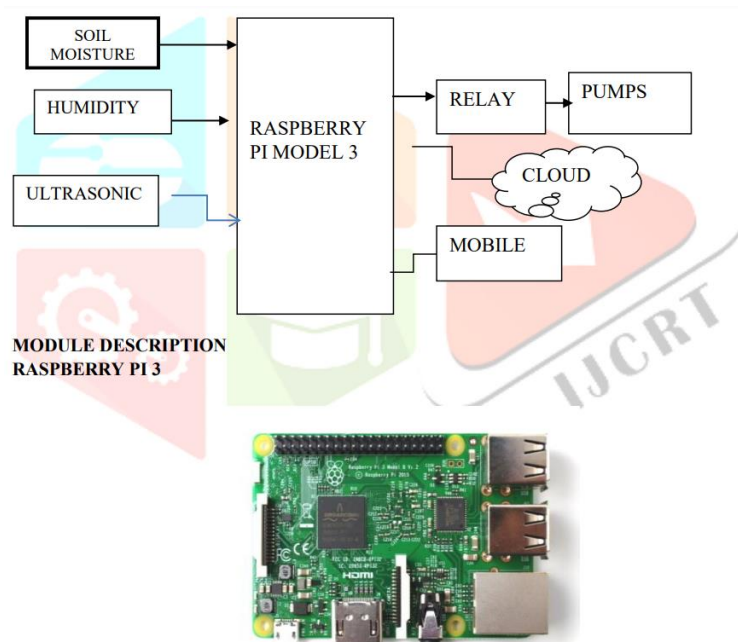


Рисунок 2.5 – Схема інтеграції IoT в систему крапельного зрошення [49]

У роботах [40, 24] надають огляди розумних іригаційних систем. Вони розповідають про бездротовий зв'язок, способи зрошення, датчики, застосовні



до розумних зрошувальних систем, і види моніторингу в цій сфері. Так само робота [18] надає детальну розбивку моніторингу зрошення, контролю та системи планування, тоді як [36] досліджує випадки використання, виклики та проблеми IoT у сільському господарстві.

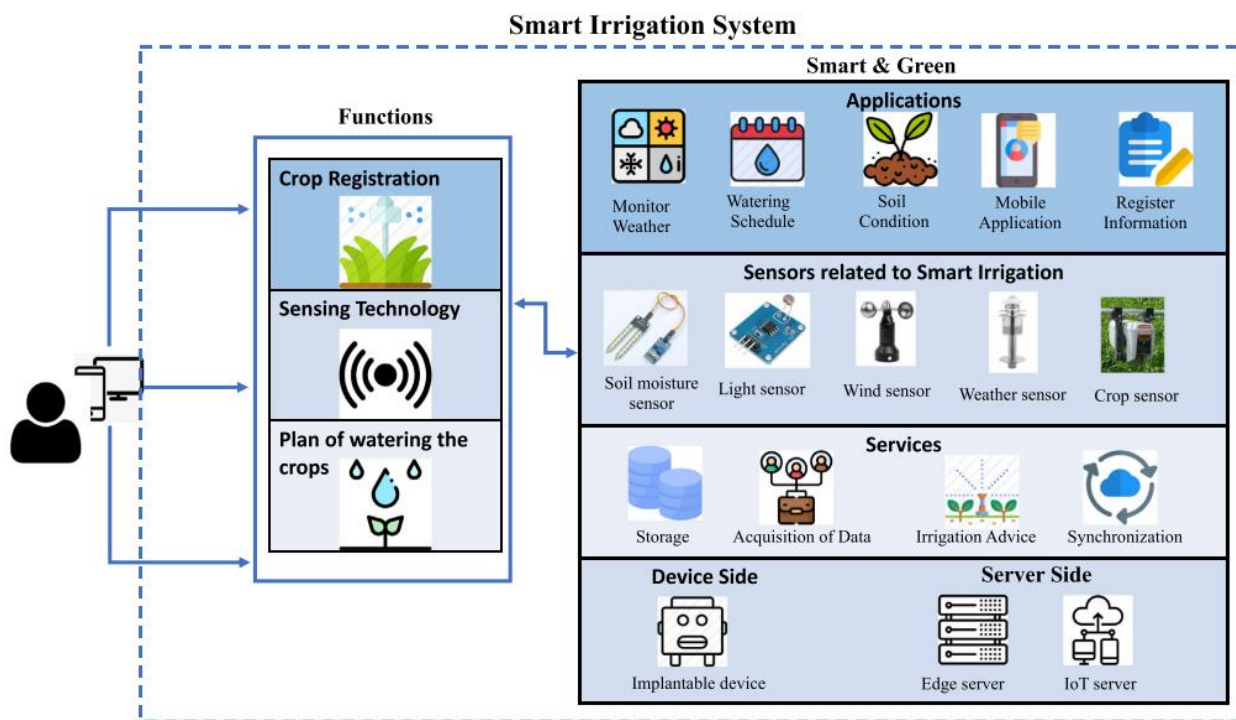


Рисунок 2.6 – Структури розумних систем зрошення, іконки взяті з сайту flaticon.com [36]

У роботі [22], інтелектуальна зрошувальна система була розроблена з використанням резистивного датчика вологості ґрунту, датчика температури, вимірювача витрати води та одноплатного комп'ютера Arduino UNO (SBC). Система відстежує температуру та рівень вологості ґрунту, і якщо ґрунт стає сухим або температура перевищує 30 °C, то поле зрошується. У роботі [31] детально описано інтелектуальну систему, яка моніторить і контролює сільськогосподарське виробництво за допомогою Інтернету речей. Вона відстежує дані та надає їх фермеру, який за потреби може використовувати дані для дистанційного керування системою, зменшуючи робоче навантаження.

У роботі [26], запропонована інтелектуальна система зрошення була розроблена з використанням резистивного датчика вологості ґрунту, датчика температури, датчика вологості повітря та Arduino UNO SBC.

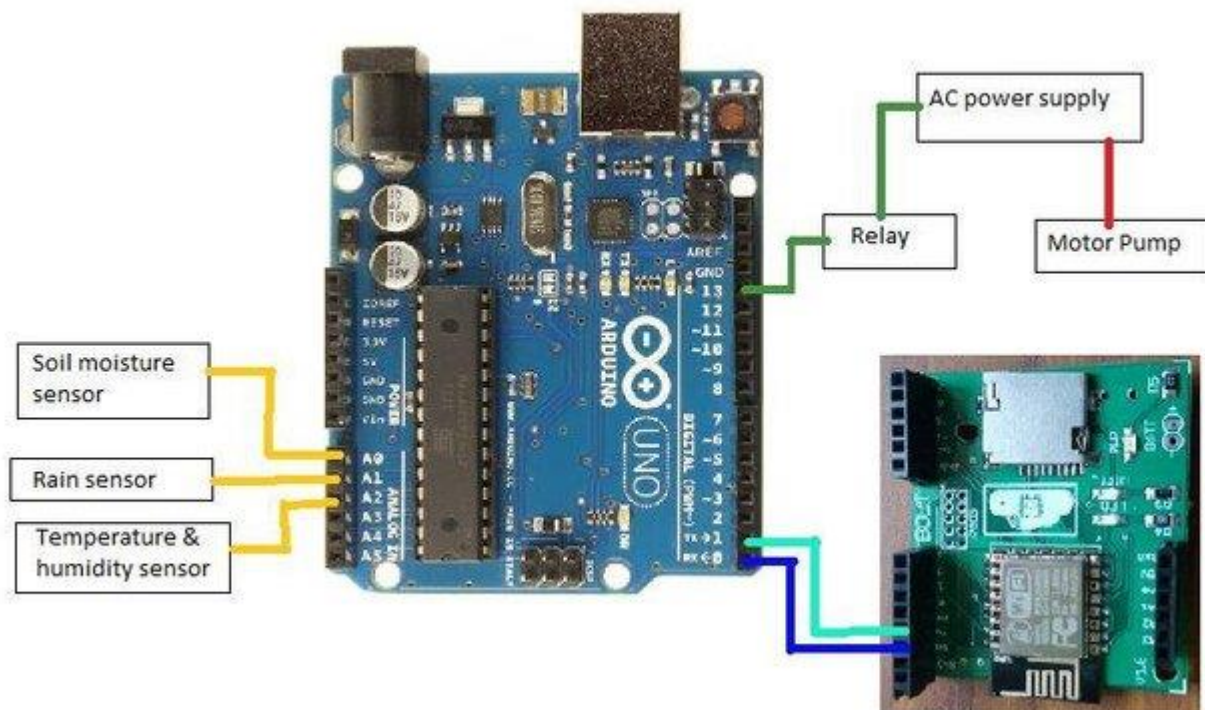


Рисунок 2.7 – Інтелектуальна система зрошення із використанням Arduino UNO SBC [26]

Система відстежує та відображає показники температури та вологості. Якщо ґрунт занадто сухий, включається двигун, щоб ґрунт отримав воду. У роботі [58] запропоновано інноваційний дизайн інтелектуальної системи крапельного зрошення на сонячних батареях з використанням вузлового мікроконтролера (MCU), який контролює температуру та вологість за допомогою датчика DHT11, а значення вологості ґрунту визначає, коли вмикається насос. Автори роботи [45] пропонують розумну ферму з використанням бездротової мережі дальнього радіусу дії (LoRaWAN).

## 2.2. Обґрунтування принципів автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств

На підставі виконаного аналізу нами пропонується автоматизувати процес зрошення полів фермерських господарств за наступними принципами. По-перше, пропонується використовувати мікроконтролер ESP32. ESP32 дешевий, має вбудований Wi-Fi, а Blynk IoT офіційно підтримує ESP32.

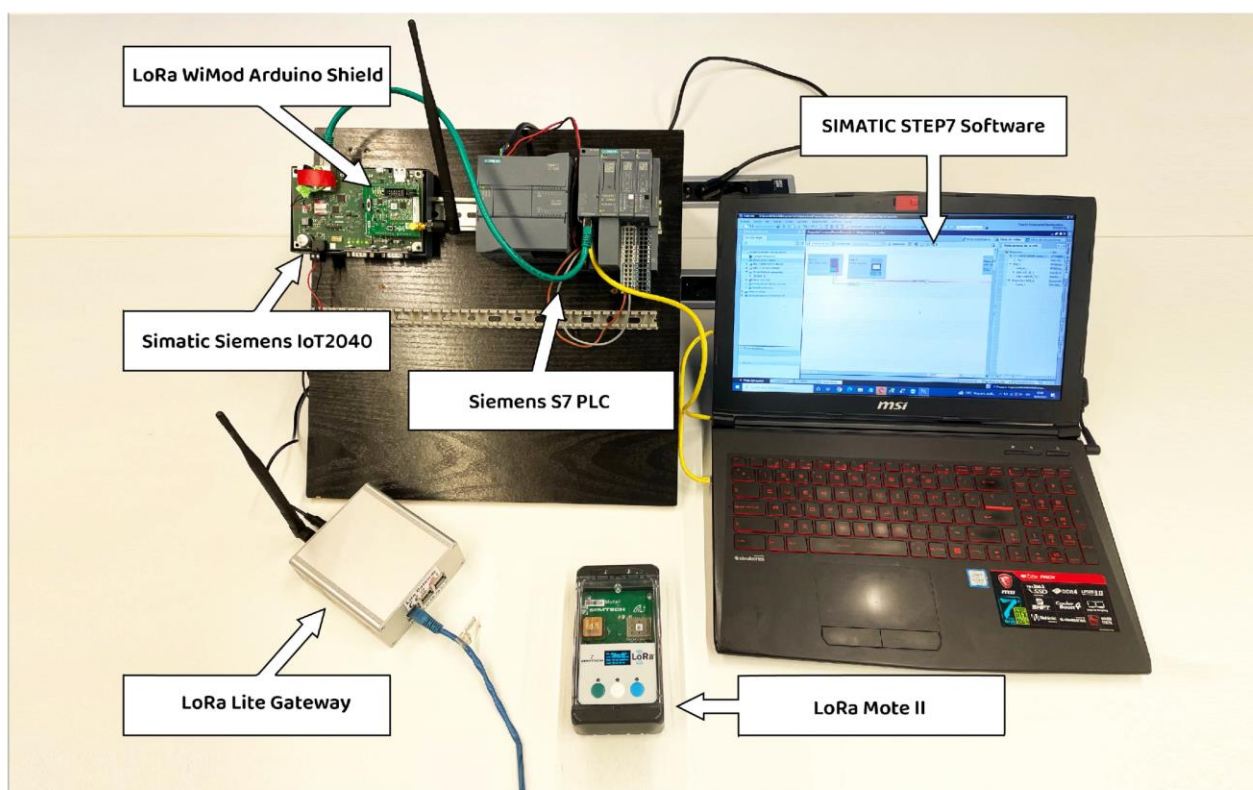


Рисунок 2.8 – Інтелектуальна система зрошення із використанням Siemens з Yocto Linux та Arduino [45]

По-друге, пропонуємо покращити автоматичний полив. ESP32 враховує фактичний час доби, вологість ґрунту та температуру ґрунту перед відкриттям клапана та поливом рослин. Показання температури доступні не тільки для моніторингу. Ми використовували показники температури, щоб переконатися, що ми поливали рослини при найкращій температурі для максимального поглинання води. По-третє, пропонується вдосконалити функції моніторингу та контролю. Разом із вологістю та температурою ґрунту ESP32 також відстежує

вологість і сповіщати користувача, коли вологість занадто низька або занадто висока. Потім користувач може вирішити вимкнути функцію автоматичного зрошення або вручну відкрити/закрити клапан на основі контрольованих значень.

По-четверте, пропонується встановлювати тривалість поливу рослин через систему крапельного поливу за допомогою датчика потоку. ESP32 збирає дані в реальному часі. Ці дані використано для відстеження дати та часу зрошення, а також щоб переконатися, що випадково не поливали рослини кілька разів протягом одного дня за допомогою датчика потоку.

### **2.3. Вибір засобів для інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT**

Основними апаратними компонентами системи є мікроконтролер, датчик вологи, датчик температури, датчик вологості повітря, датчик витрати води, електромагнітний клапан, реле та понижуючий трансформатор.

#### **2.3.1. Мікроконтролер ESP32**

Мікроконтролер ESP32 – це недорогий 32-розрядний мікроконтролер. Він має вбудований Bluetooth і Wi-Fi, що робить його корисним для програм IoT (рис. 2.9). Він може вмістити кілька датчиків і пристроїв із 48 контактами введення-виведення загального призначення (GPIO).

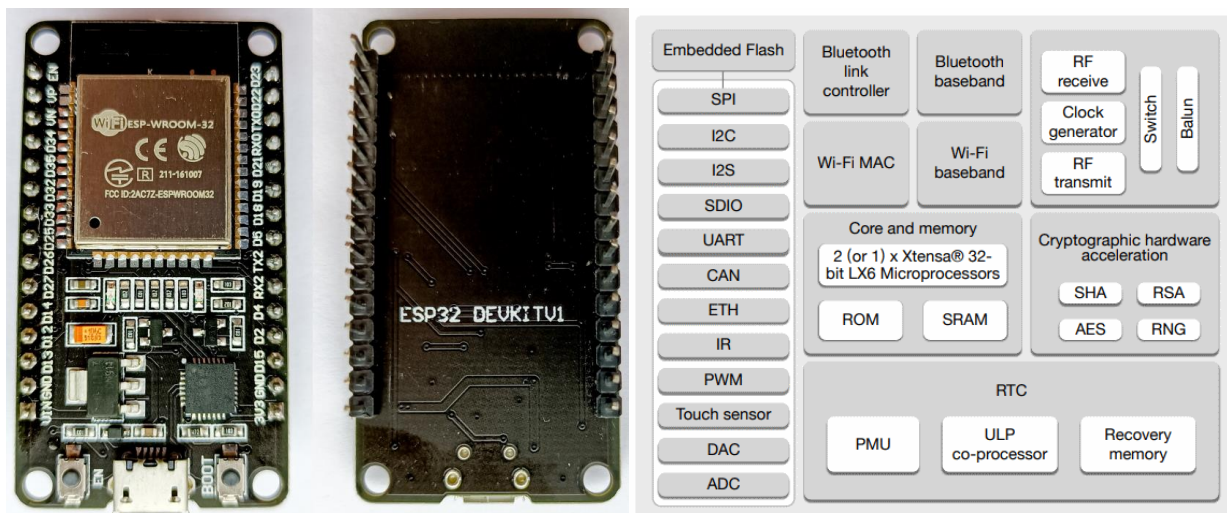


Рисунок 2.9 – Вигляд та функціональна схема мікроконтролера ESP32

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мікроконтролера ESP32

Показник	Значення
Мікроконтроллер	одноподерний ESP32-C3FH4 (32-bit RISC-V)
Тактова частота	160 МГц
Об'єм вбудованої пам'яті:	ROM: 384КБ
	SRAM: 400 КБ (кеш-пам'ять 16 КБ)
	SRAM (RTC): 8КБ
Флеш-пам'ять	4 Мб
Вхідна напруга	3.3 - 5 В
Робочий струм	до 500 мА
Бездротова мережа	Wi-Fi: 2.4 ГГц, 802.11b/g/n, 802.11mc (150 Mbit)
	Bluetooth 5 (LE)
GPIO I/O: 13, (SPI x 1, I2S x 1, I2C x 1, UART x 1, PWM та ADC 12-bit)	
USB	Type C
Розміри	23 x 18 мм
Комплектація	плата ESP32-C3 (1 шт), конектори PLS 1x8 (2 шт)

Нами використано вбудований Wi-Fi ESP32 для зв'язку з мобільним додатком Vlink або веб-панеллю. ESP32 надсилає інформацію про зрошення в



хмару Blynk. Можна керувати клапаном або встановлювати час поливу за допомогою мобільного додатку.

### 2.3.2. Датчик вологи DFRobot

Нами використано датчик вологості ґрунту SEN0308 DFRobot, який визначає вологість ґрунту та надсилає аналогові сигнали на ESP32. Датчик показаний на рис. 2.10.

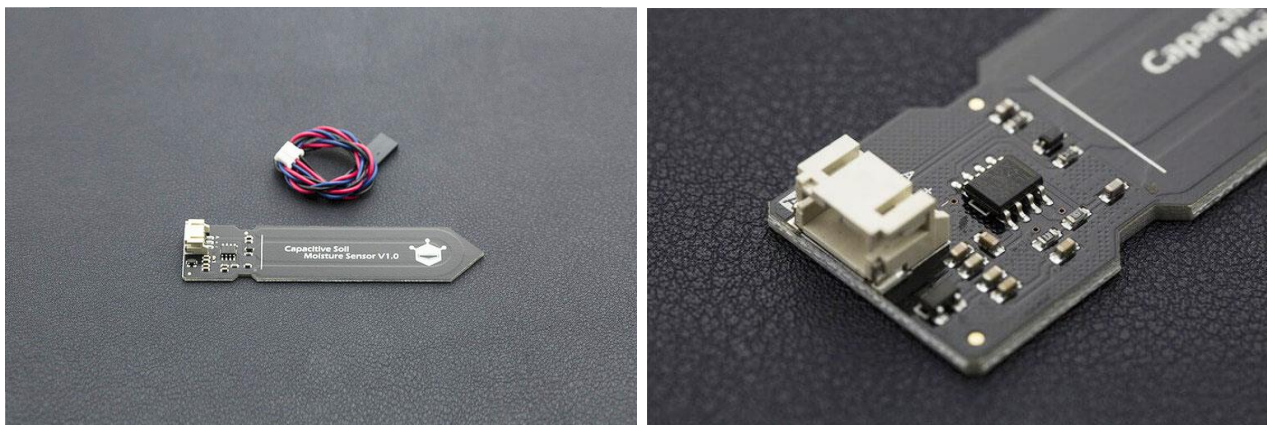


Рисунок 2.10 – Датчик вологи DFRobot

Найбільша проблема резистивних датчиків вологості ґрунту – малий термін експлуатації, зумовлений схильністю до корозії контактів вимірювача. Ємнісні датчики вільні від цього недоліку, а корозійностійке покриття електродів робить їх практично вічними. Ще це позитивно впливає на стабільність показань і точність вимірювання датчика.

Так само на стабільність показань позитивно впливає наявність на платі датчика стабілізатора напруги живлення, що дає змогу жити датчик напругою від 3,3В до 5,5В. У комплекті йде кабель під'єднання, що дає змогу дуже просто і швидко під'єднати датчик до контролера або плати розширення. Цей датчик оригінальний від компанії DFRobot. Роз'єм датчика повністю сумісний із сімейством датчиків Gravity.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчика вологи DFRobot

Показник	Значення
Код виробника	SEN0193
Застосування	Сільськогосподарські рослини Інтелектуальне сільське господарство Виявлення вологи
Призначення виводів	GND - Загальний
	VCC - Напруга живлення
	AOUT - Аналоговий вихід
Метод вимірювання вологості	ємнісний
Тип виходу	аналоговий
Напруга живлення	від 3,3В до 5,5В
Вихідна напруга	від 1,2В до 2,5В
Інтерфейсний роз'єм	PH2.0-3P
Розмір	98x23 мм
Вага	15 грам

SEN0193 – це ємнісний датчик вологи, який забезпечує покращену водонепроникність, збільшену довжину та високу стійкість до корозії. Він вирішує критичну проблему, яка виникає при роботі з резистивними датчиками вологи, якою є корозія зондів. SEN0193 має чудову стійкість до корозії та може бути вставлений у ґрунт на тривалий час.

Ми вставили сенсорний зонд у ґрунт. Датчик вимірює зміни ємності, викликані змінами в діелектрику через вологість. Він не вимірює вологість безпосередньо, а натомість вимірює іони вологи. Датчик надсилає аналогові сигнали до ESP32 на основі вимірювання, яке ESP32 перетворює на цифровий сигнал.

Для калібрування датчика SEN0193 слід завантажити програму калібрування в контролер. Відкрийте монітор послідовного порту і встановити швидкість передачі 9600.

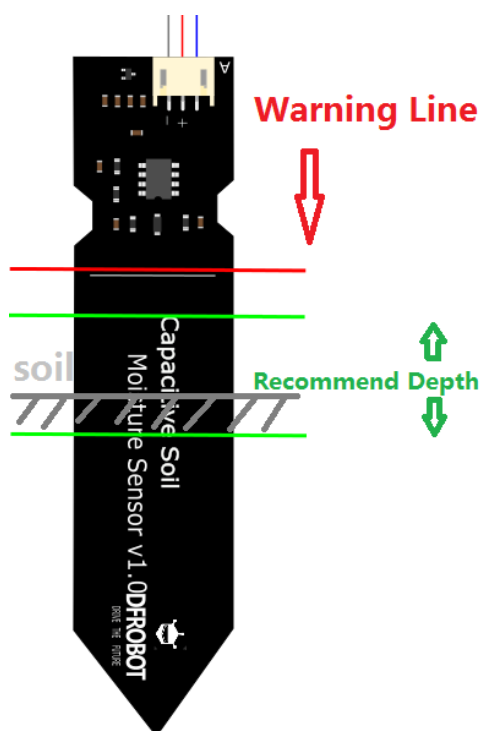


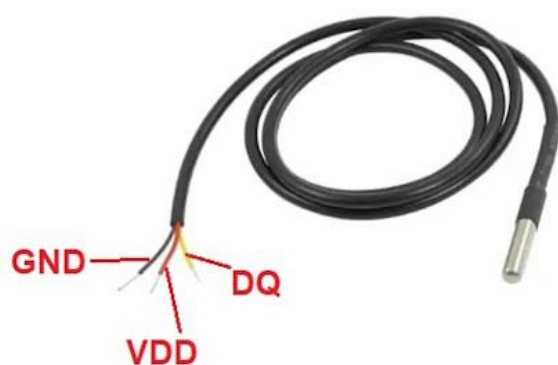
Рисунок 2.11 – Калібрування датчика вологи DFRobot

У подальшому фіксують значення датчика, коли датчик піддається впливу повітря, як «Значення 1». Це граничне значення для сухого ґрунту «Вологість: 0% відносної вологості». У подальшому слід взяти чашку води і вставити у неї зонд не далі червоної лінії на діаграмі (рис. 2.11). Зафіксувати значення датчика, коли датчик піддається впливу води, як «Значення 2». Це граничне значення вологого ґрунту «Вологість – 100% відносної вологості».

### 2.3.3. Датчик температури DS18B20

Нами пропонується використовувати датчик температури однопровідної шини DS18B20, який показано на рис. 2.12. Ці датчики забезпечують до 12-бітних вимірювань температури за Цельсієм і мають функцію сигналізації з енергонезалежними програмованими користувачем нижньою та верхньою точками запуску.





Номер	Назва	Призначення
1	GND	Земля
2	DQ	Цифровий вихід 1-Wire
3	VDD	Живлення

Рисунок 2.12 – Водонепроникний датчик температури DS18B20

DS18B20 – це точний цифровий датчик температури, який використовує інтерфейс 1-Wire. Цей датчик розроблений для вимірювання температури від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  і передачі даних по одному провіднику. Також через цей провідник може постачатися живлення для датчика. Використовується у різноманітних системах моніторингу температури або вузлах обладнання. Похибка датчика складає  $0,5$  градуса.

Кожен датчик має унікальний 64-розрядний ідентифікатор, записаний на заводі, щоб розрізнити їх, що дозволяє нам керувати кількома датчиками за допомогою одного контакту GPIO мікроконтролера. Суттєвими перевагами цього датчика є його висока точність і водонепроникність.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика температури DS18B20

Показник	Значення
Діапазон температур та точність	$-55 \dots 125^{\circ}\text{C} \pm 2,0$ , $-10 \dots 85^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ .
Роздільна здатність	9 ... 12 Біт, до $0,0625^{\circ}\text{C}$
Напруга живлення	3,0 В ... 5,5 В
Період видачі результату вимірювання	750 мс при 12 біт, 94 мс при 9 біт
Можливість живлення	по лінії даних (паразитне живлення).
Зв'язок з 1-Wire	Кожен датчик має унікальний 64-бітовий серійний номер
Наявність сигналу	сповіщення про вихід температури за задані межі

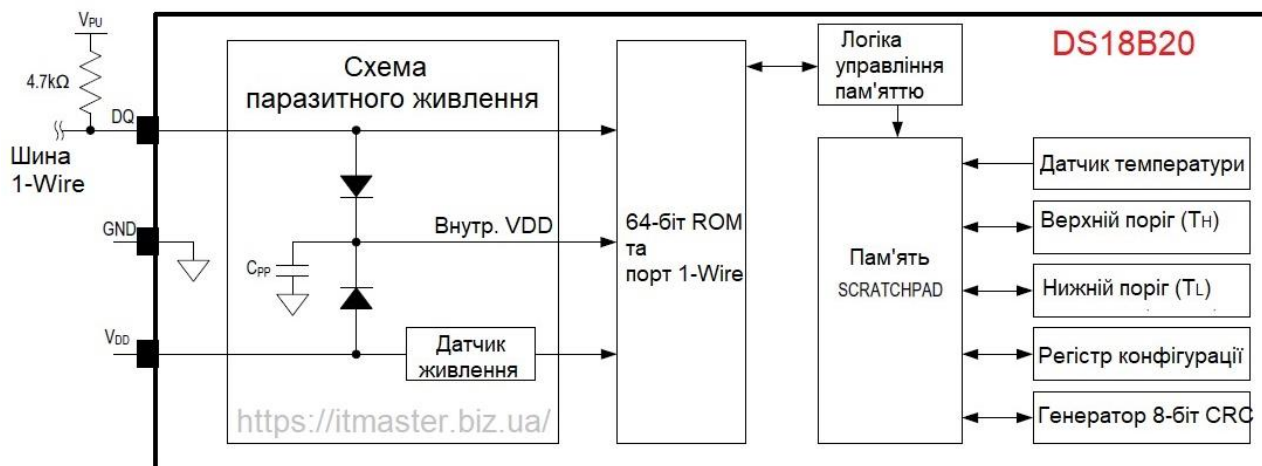


Рисунок 2.13 – Функціональна блок-схема датчика DS18B20

Схема паразитного живлення на блок схемі використовує конденсатор CPP, який заряджається через діод від напруги лінії зв'язку. Цей конденсатор перетворюється у джерело живлення для пристрою.

При постійній напрузі на ніжці DQ, конденсатор завжди заряджений, і датчик працює стабільно. Проте, якщо сигнал зчитування надто часто відбувається, сила струму зростає настільки, що заряд, накопичений на конденсаторі, стане недостатнім для підтримки напруги живлення датчика. Тому на схемі включено MOSFET транзистор, який автоматично вмикається (на проміжок часу до 10 мкс) при кожному перетворенні сигналу з передачею даних в ОЗП.

#### 2.3.4. Датчик вологості повітря DHT22

Нами пропонується використати датчик вологості та температури DHT22, як показано на рис. 2.14. Він недорогий і використовує ємнісний датчик вологості для вимірювання вологості повітря. Він також використовує термістор для вимірювання температури. Дані можна отримати з контакту даних DHT22. DHT22 підходить для вимірювання вологості 0–99,9%.+ / –2% точності.

DHT22 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND

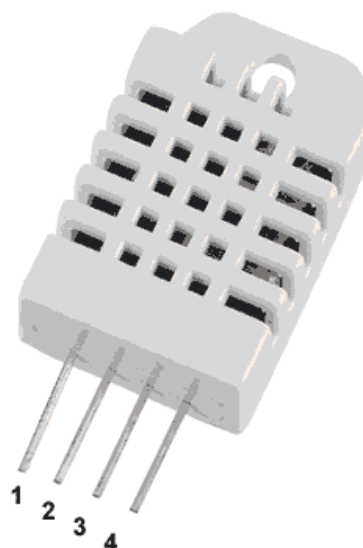


Рисунок 2.14 – Датчик вологості повітря DHT22

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики датчика вологості повітря DHT22

Показник	Значення
виробник	ASAIR
тип	AM2302 цифровий
точність	0.1 °C
діапазон вимірювання вологості	0-100%
діапазон вимірювання температури	-40 ~ 80 °C
точність вимірювання вологості	±2% RH
точність вимірювання температури	±0.5 градуса
напруга живлення	3.6-6 В
кількість виводів	4
енергоспоживання	ультранизьке
обв'язка	не потребує
здатний працювати	при досить довгому дроті

Під час під'єднання до мікроконтролера, можна між виводами VCC і Data розмістити підтягуючий Pull-Up резистор номіналом 10 кОм.

### 2.3.5. Датчик потоку води FS300A G3/4 дюйма

Датчик FS300A складається з водяного ротора, датчика Холла та пластикового корпусу клапана, як показано на рис. 2.15.



Рисунок 2.15 – Датчик потоку води FS300A G3/4 дюйма

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики датчика потоку води FS300A

Показник	Значення
Мінімальна напруга Working	DC 4,5 В
Максимальний робочий струм	15 мА (DC 5 В)
Робоча напруга	5 В ~ 24 В
Діапазон витрат	1 ~ 60 л/хв
Ємність навантаження	≤10mA (DC 5V)
Робоча температура	≤80 °C
Температура рідини	≤120 °C
Робоча вологість	35% ~ 90% RH
Тиск води	≤1,75 МПа
Температура зберігання	-25°C ~ +80°C
Вологість при зберіганні	25% ~ 95% RH

Витратомір/датчик води FS300A працює на ефекті Холла. Він розташований на одній лінії з водопровідною мережею та містить датчик із вертушки для вимірювання кількості рідини, що пройшла через нього. Є вбудований магнітний датчик Холла, який видає електричний імпульс із кожним обертом. Датчик Холла герметично закритий від водопровідної труби, що дозволяє датчику залишатися безпечним і сухим.

Датчик поставляється з трьома проводами: червоним (живлення 5-24 В постійного струму), чорним (заземлення) і жовтим (вихід імпульсу Холла). Підрахувавши імпульси на виході датчика, можна легко обчислити витрату води. Це не прецизійний датчик, і частота пульсу дещо змінюється залежно від швидкості потоку, тиску рідини та орієнтації датчика. Він потребує ретельного калібрування, якщо потрібна точність вище 10%. Однак він чудово підходить для основних завдань вимірювання потоку води.

Вода надходить через вхідний отвір і виходить через вихідний отвір завдяки потоку води, і колесо котиться, як і магніт. Обертання магніту запускає датчик Холла, який видає високо- та низькоквадратичні хвилі. Це дає можливість обчислити потік води шляхом підрахунку прямокутних хвиль.

### **2.3.6. Електромагнітний клапан Hunter PGV-100G-B**

Нами пропонується використовувати однодюймовий електромагнітний клапан Hunter PGV, який є клапаном з електричним керуванням. Цей клапан показаний на рис. 2.16.

Електромагнітний клапан для поливу Hunter PGV-101G-B з внутрішніми різьбами 1 дюйм відзначається надійністю і довговічністю, що характерно для клапанів цієї торгової марки. Виготовлений з міцних матеріалів, він призначений для тривалого використання і ефективно працює навіть у важких умовах на присадибних ділянках та комерційних об'єктах. Цей клапан

оптимально пристосований до частого включення і виключення та призначений для роботи з чистою водою.



Рисунок 2.16 – Електромагнітний клапан Hunter PGV-100G-B

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики електромагнітного клапана Hunter PGV-100G-B

Показник	Значення
Діаметр	1" ВР x 1" ВР
Пропускна здатність	0,05 - 9 м <sup>3</sup> /год (0,7 - 150 л/хв)
Рекомендований тиск	1,5 - 10 бар; 150 - 1000 кПа
Живлення	24 В змінного струму
Пусковий струм	350 мА
Струм утримання	190 мА
Частота	60 Гц
Регулювання потоку води	дозволяє обмежити вихідний тиск пропускається рідини
Функція внутрішньої/зовнішньої ручного прокачування	дозволяє швидко активувати клапан на місці його встановлення
Розділова діафрагма	з подвійним бортиком запобігає витоку
Повна сумісність	З контролерами Hunter і іншими контролерами з керуючими контактами 24 В змінного струму

Електромагнітний клапан PGV-101G-B включає в себе регулювання потоку води. Виготовлений з високоміцних матеріалів, він оснащений посиленою діафрагмою з ущільнювальним кільцем, щоб зменшити ризик поломки в разі гідравлічного удару. Цей клапан не рекомендується для використання у самопливних системах поливу за мінімального робочого тиску 1,5 бар.

### **2.3.7. Вибір інших пристроїв**

Пропонується реле, як простий вимикач з електричним керуванням. Надіславши сигнал від ESP32, можна ввімкнути перемикач і подати 24 В змінного струму на електромагнітний клапан і відкрити його.

Також пропонується використовувати понижуючий регулятор напруги. Інтелектуальна система крапельного поливу живиться від адаптера 12 В постійного струму. Використовується понижуючий стабілізатор напруги, щоб забезпечити ESP32 необхідними для роботи 5 В.

## РОЗДІЛ 3.

### РОЗРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КРАПЕЛЬНОГО ЗРОШЕННЯ З ПІДТРИМКОЮ ІОТ

#### 3.1. Схема запропонованої архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ

Запропонована схема архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою ІоТ показана на рис. 3.1.

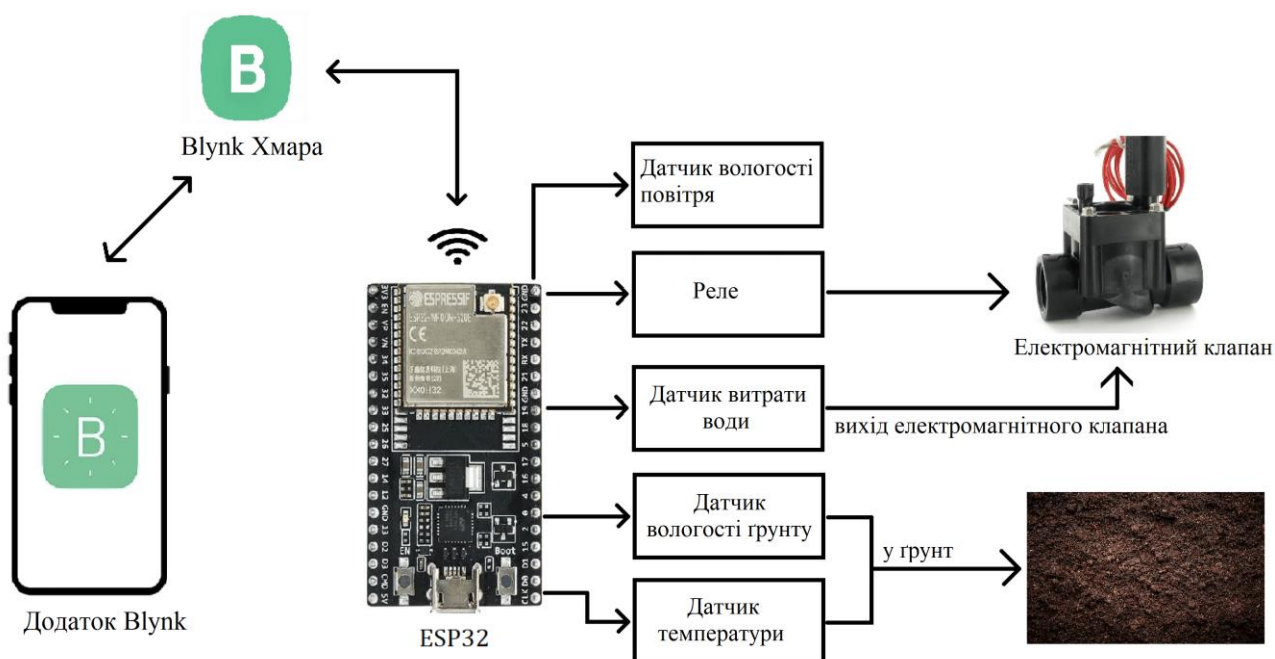


Рисунок 3.1 – Схема архітектури запропонованої інтелектуальної системи  
крапельного зрошення з підтримкою ІоТ

Популярний мікроконтролер ESP32 це мозок запропонованої системи. Пропонуємо підключити до ESP32 різні датчики і реле. Зонд датчика температури та датчик вологості ґрунту були вставлені в ґрунт і контролюють відповідно температуру та рівень вологості ґрунту.

Датчик витрати води надає дані про витрату води, а датчик вологості вимірює вологість повітря. Система відкриває електромагнітний клапан для поливу рослин за допомогою реле.



ESP32 використовує Wi-Fi для зв'язку з мобільним додатком або веб-панеллю через хмару Blynk. Нами пропонується використовували додаток Blynk для збору даних про зрошення, ручного керування клапаном і побудови графіка коливань температури ґрунту.

Найкраще поливати рослини вранці або пізно ввечері. Полив посівів у другій половині дня може призвести до нагрівання води та опіків рослин. Полив посівів пізно ввечері може призвести до застою води та сприяти розвитку гнилі, розвитку грибків і комах [19; 55]. Нами використано погодинні звіти про погоду у [27; 43], щоб встановити ранковий період зрошення з 5 ранку до 8 ранку та вечірнє вікно зрошення з 6 вечора до 8 вечора. У цей час погода зазвичай тепла, а температура між 12 °C і 20 °C, як показано на рис. 3.2.

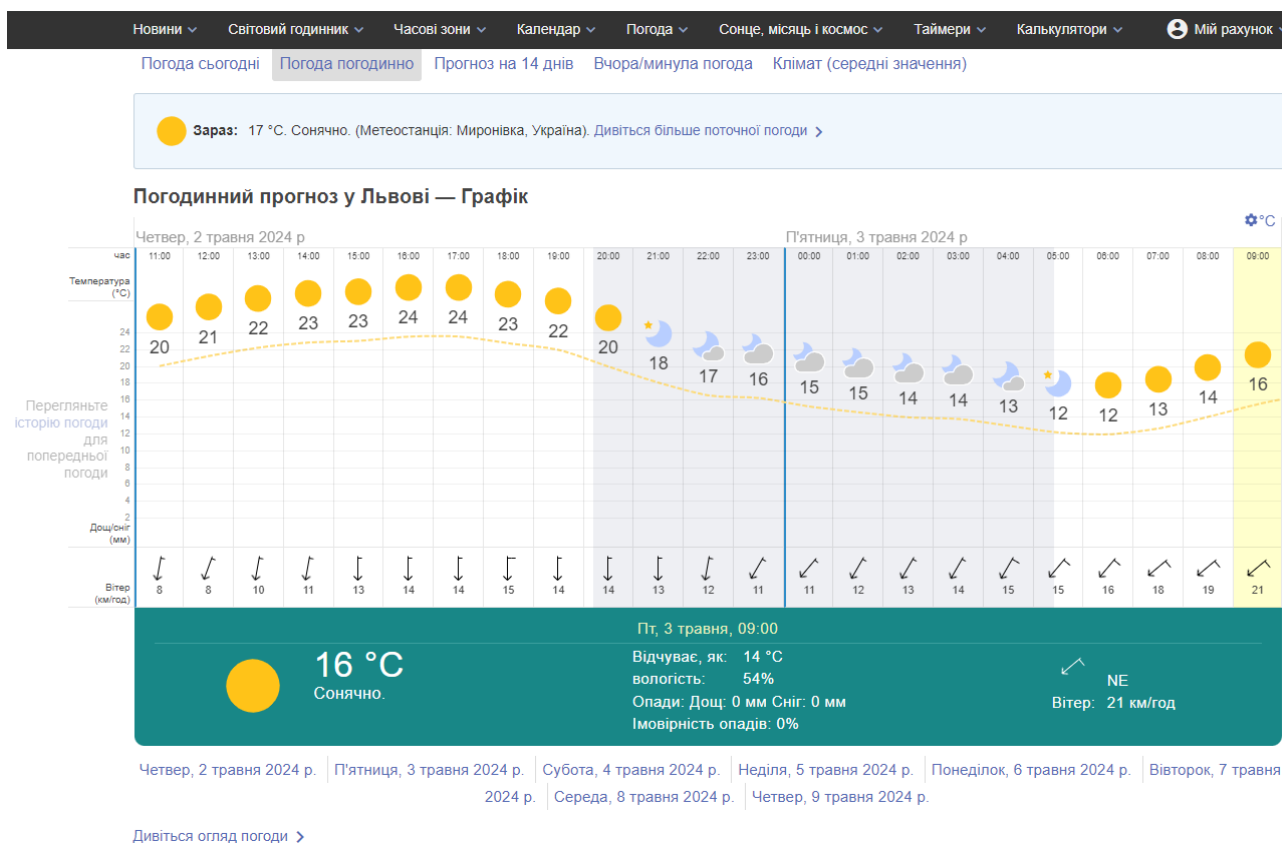


Рисунок 3.2 – Погодинні звіти про погоду із використанням ресурсу timeanddate [27]

Використовуючи дані в режимі реального часу, ESP32 перевірятиме вологість і температуру ґрунту протягом цих заданих часових меж і поливатиме за потреби рослини.

Нами використано датчик вологості повітря для збору даних про вологість. Якщо температура дуже висока, а вологість низька, занадто багато води буде випаровуватися через транспірацію. Втрата води призведе до того, що рослини намагатимуться поглинути більше води, і, споживаючи більше води, вони споживатимуть більше поживних речовин. Надлишок поживних речовин спричинить опік кінчиків листя, а листя в'яне [54]. Тому полив ґрунту при надто низькій вологості може бути не припустимий. ESP32 повідомить, якщо вологість занадто висока або низька. На основі показників вологості разом з іншими даними датчиків можна ввімкнути або вимкнути функцію автоматичного зрошення.

Можна відкрити клапан вручну за допомогою програми, якщо це необхідно. Дані про зрошення зберігаються в додатку, оскільки вони допомагають розпізнавати тенденції та робити зміни у системі. Дані зрошення складаються з дати та часу зрошення, температури ґрунту під час зрошення та швидкості потоку води в крапельній лінії.

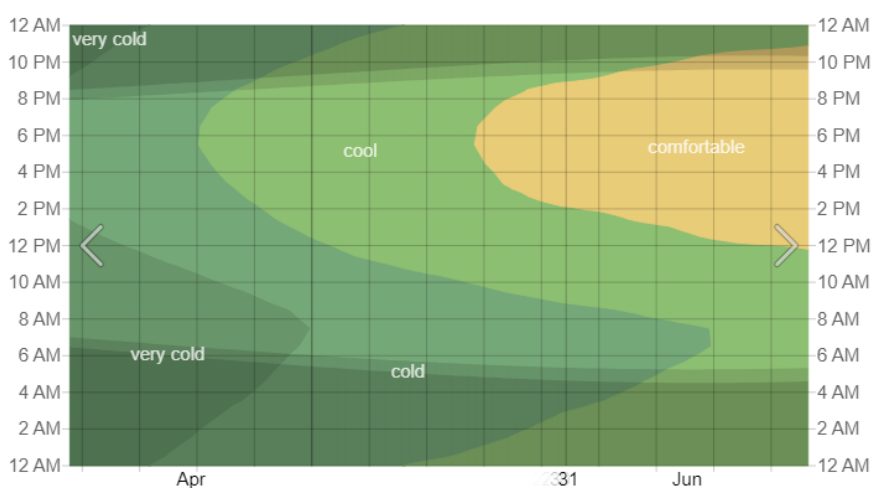


Рисунок 3.3 – Середня погодинна температура, позначена кольоровими смугами. Заштриховані накладки позначають ніч і цивільні сутінки [7].

Погодинна температура у Львові за травень 2024 року, позначена кольоровими смугами. Заштриховані накладки вказують на ніч і сутінки (джерело: [www.weatherspark.com](http://www.weatherspark.com) [7]).

Пропонується підключили ESP32 до датчика вологи, температури, вологості повітря, потоку води та електромагнітного клапана. Використовуючи дані цих датчиків, ESP32 визначає, коли відкривати електромагнітний клапан. Електромагнітний клапан контролює надходження води в труби системи крапельного поливу.

### **3.2. Блок-схема запропонованої інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT**

Блок-схема, що висвітлює логіку, запрограмовану в ESP32, показана на рис. 3.4.

Коли вмикається система, ESP32 ініціалізує свою енергонезалежну пам'ять (NVS), флеш-пам'ять, Wi-Fi, операційну систему реального часу (RTOS), датчик вологості ґрунту, датчик температури, датчик вологості повітря та датчик потоку. Потім ESP32 підключається до серверів Blynk і перевіряє вміст вологи в ґрунті, температуру та вологість.

Якщо система зрошення наразі налаштована на автоматичний полив і якщо ґрунт сухий, вона отримує поточний час доби та порівнює його з часовими вікнами ранкового та вечірнього зрошення. Якщо час знаходиться в межах вікна часу поливу, ESP32 перевірить, чи температура ґрунту знаходиться в межах ідеального діапазону. Якщо температура знаходиться в ідеальному діапазоні для максимального водопоглинання, ESP32 відкриє клапан на годину і забезпечує полив рослини. Після цього ESP32 виконується очікування 10 хвилин, перш ніж перевірити рівень вологості ґрунту.

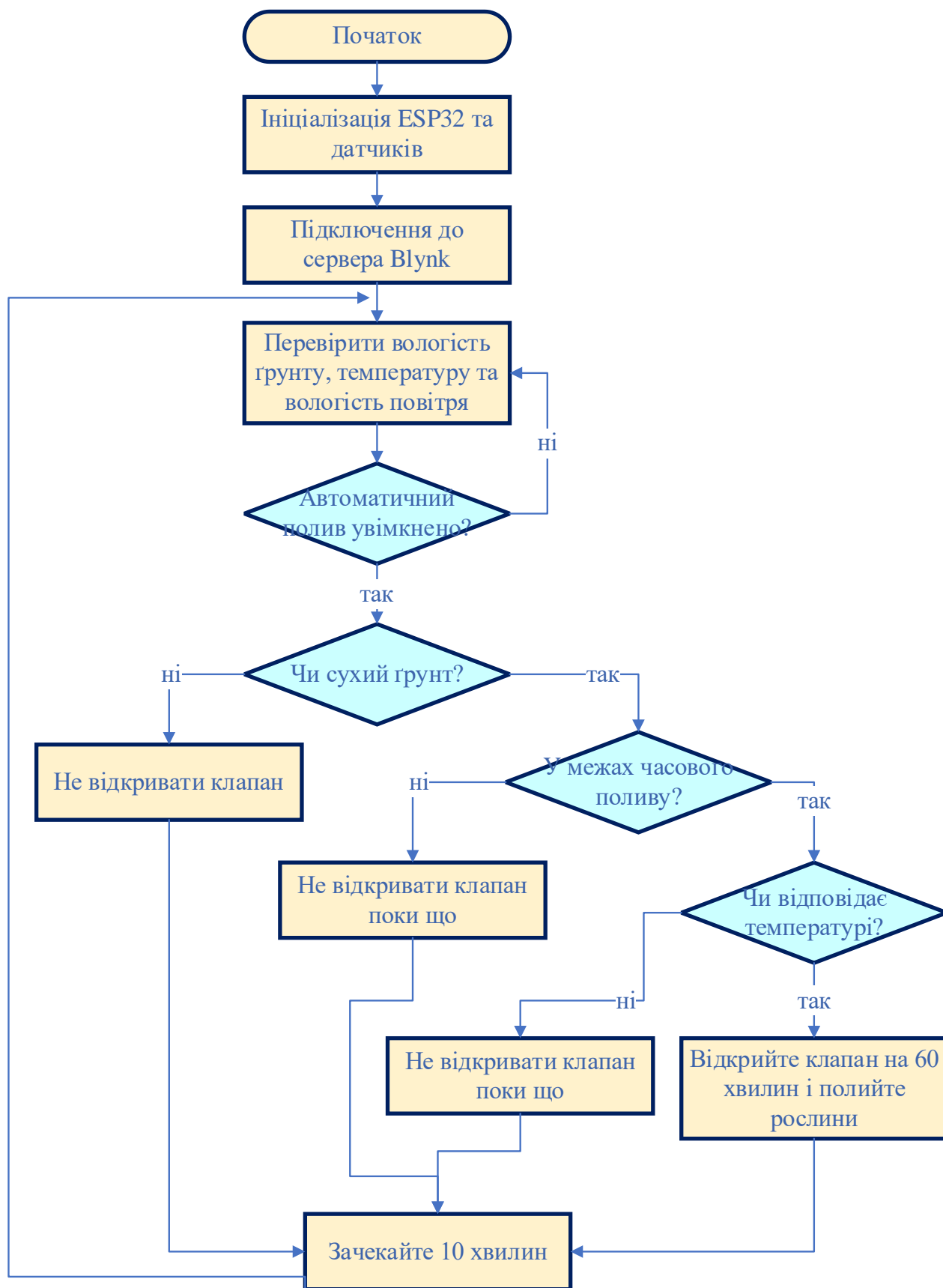


Рисунок 3.4 – Блок-схема інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT

Якщо ґрунт сухий, але поточний час не входить у часові межі поливу, ESP32 не відкриє клапан. Так само, якщо температура не відповідає заданому діапазону, ESP32 не відкриє клапан. Якщо ґрунт вологий під час перевірки вологості, ESP32 триматиме клапан закритим.

### **3.3. Монтаж та налагодження інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT**

Насамперед нами було виконано перевірку датчика вологи, датчика температури, датчика вологості повітря, датчика потоку води, електромагнітного клапана та мікроконтролера. За допомогою реле ESP32 може керувати електромагнітним клапаном. Гучний звук клацання сповіщає нас про відкриття або закриття клапана. У подальшому відкалібрували датчик вологості ґрунту, спочатку зчитавши значення датчика в повітрі, а потім помістивши зонд у склянку з водою та повторно зчитавши значення.

#### **3.3.1. Підключення датчика температури DS18B20 до ESP32**

Після калібрування датчика вологи підтвердили, що ESP32, датчик вологості та клапан добре працюють разом. Для цього запрограмували ESP32 щоб клапан відкривався, якщо датчик вологості не був в чашці з водою. Потім замінили чашку горщиком із вазонами, повторно відкалібрували датчик вологи із використанням ґрунту і повторили експерименти.

Підключили датчик температури DS18B20 до ESP32 за допомогою GPIO (рис. 3.5).

Розпочали підключення із заземлення. Якщо потрібно використовувати інші піни, слід відповідно відредагувати код. Увімкнути всю систему тільки після завершення всіх підключень. Слід підключити контакт GND датчика

DS18B20 до контакту GND ESP32. Підключити контакт даних датчика до контакту ESP32 GPIO2. Підключити червоний кабель датчика до контакту 3V3 ESP32.

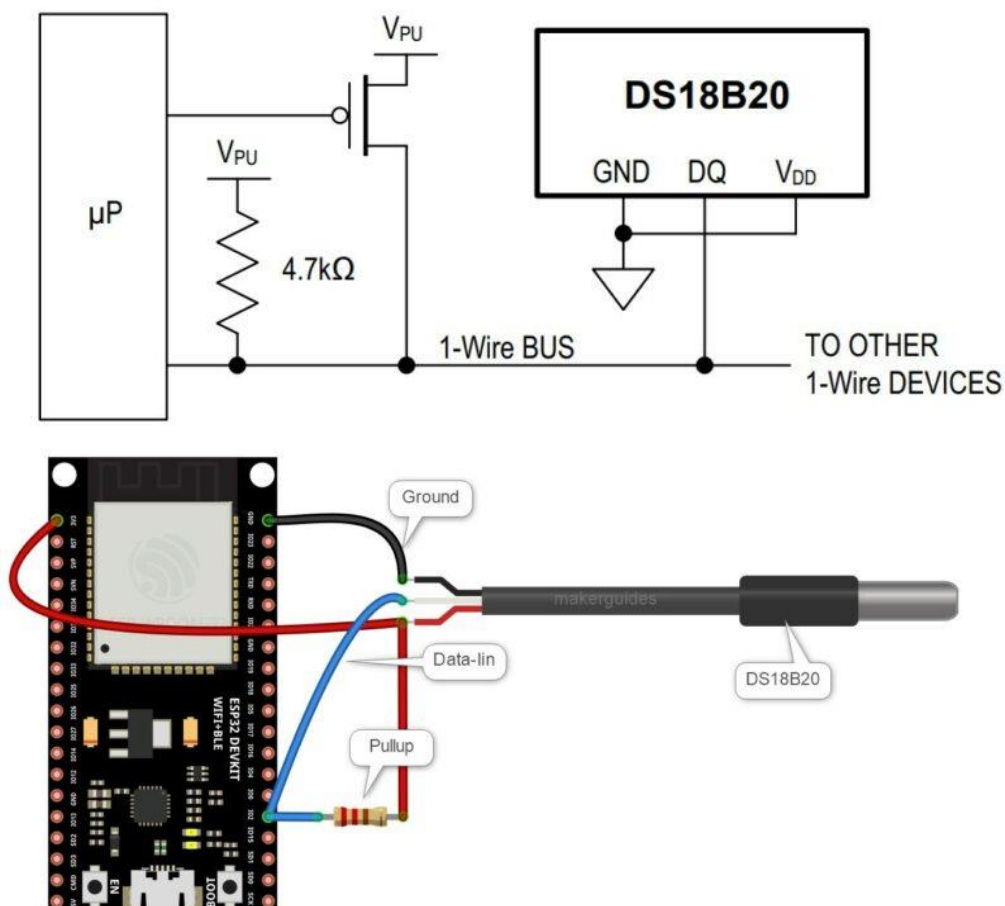


Рисунок 3.5 – Схема підключення датчик температури DS18B20 до ESP32

Оскільки ESP32 не має виділеного контакту GPIO інтерфейсу 1-wire шини, нам довелося виконати бітове розрядження на GPIO, щоб використовувати DS18B20 (рис. 3.6).

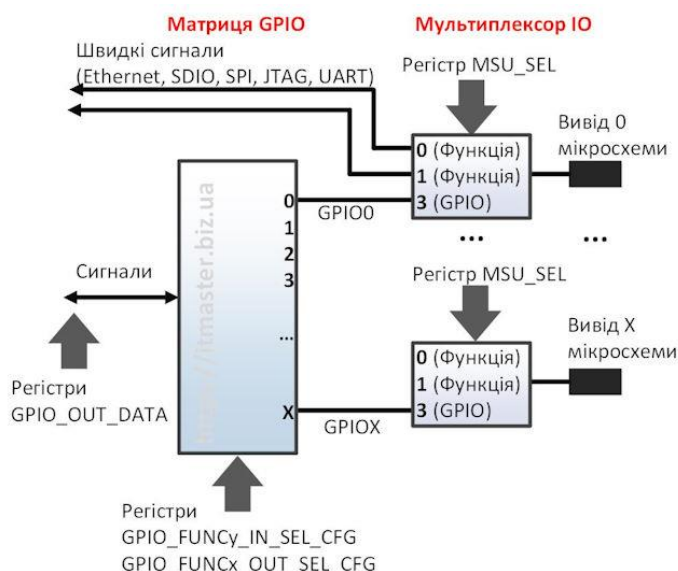


Рисунок 3.6 – Схема матриці GPIO та відповідних мультиплексорів

ESP32 має 34 контакти GPIO, ESP32-C3 та ESP32-C6 мають по 22 контакти GPIO. Цим контактам можна призначати різні функції шляхом програмування відповідних регістрів. Існує декілька типів GPIO: лише цифрові, аналогові, ємнісні сенсорні тощо. Аналогові GPIO та ємнісні сенсорні GPIO можна налаштувати як цифрові GPIO.

Керування GPIO відбувається з допомогою матриці GPIO та відповідних мультиплексорів.

Матриця та мультиплексори конфігуруються та керуються спеціальними регістрами. Кожен вивід мікросхеми має свій конфігураційний регістр мультиплексора. Наприклад вивід 4 має конфігураційний регістр IO\_MUX\_GPIO4\_REG. Щоб конфігурувати цю ніжку як вхід, то необхідно виставити біт FUN\_IE в логічну одиницю. В регістрі є багато інших бітів, наприклад біти FUN\_WPU та FUN\_WPD включають підтягувальні резистори (до живлення та землі відповідно).

Опис усіх регістрів можна знайти в документі ESP32 Technical Reference Manual (9,6 Мбайт), який можна завантажити з офіційного сайту виробника.

Програмуючи мікроконтролер, у своєму коді записують дані в певні регістри (рис. 3.7).



```

1  #include "OneWire.h"
2  #include "DallasTemperature.h"
3
4  #define ONE_WIRE_BUS 2
5
6  OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
7  DallasTemperature sensors(&oneWire);
8
9  void setup(void)
10 {
11   Serial.begin(9600);
12   Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");
13   sensors.begin();
14 }
15
16
17 /*
18  Main function, get and show the temperature
19  */
20 void loop(void)
21 {
22   Serial.print("Requesting temperatures...");
23   sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
24   Serial.println("DONE");
25   float tempC = sensors.getTempCByIndex(0);
26
27   if (tempC != DEVICE_DISCONNECTED_C)
28   {
29     Serial.print("Temperature for the device 1 (index 0) is: ");
30     Serial.println(tempC);
31   }
32   else
33   {
34     Serial.println("Error: Could not read temperature data");
35   }
36 }

```

Рисунок 3.4 – Фрагмент коду програмування ESP32

Нами було дотримано часових діаграм DS18B20, щоб записувати та читати 1с і 0с. Нарешті, виконали просте калібрування, вимірявши відомі температури. Виміряли температури різних об'єктів за допомогою DS18B20 і порівняли їх між собою.

### 3.3.2. Порівняння показань датчиків із прогнозом погоди

Щоб перевірити точність вимірювань датчиків у зовнішньому середовищі, взяли показання з датчика температури ґрунту DS18B20 і датчика температури й вологості повітря DHT22 і порівняли їх із даними, зібраними з

timeanddate.com [27]. Тест проводився протягом 5 годин 3 травня 2024 року. У таблиці 3.1 порівнюється температура, виміряна датчиком температури ґрунту (DS18B20), датчиком температури повітря (DHT22), і дані температури, отримані з timeanddate.com (доступ 3 травня 2024 року).

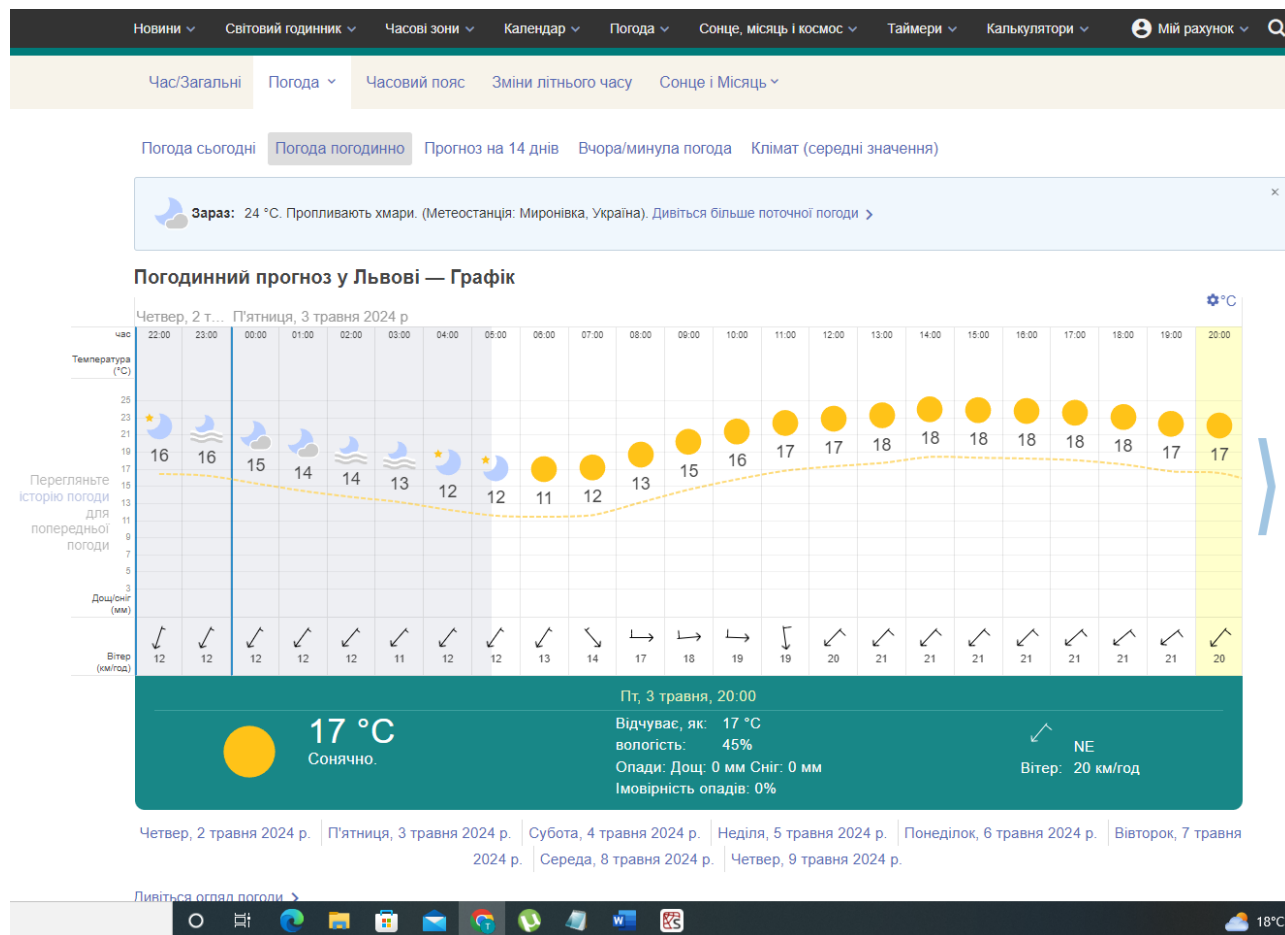


Рисунок 3.5 – Прогнозні дані температури, отримані з timeanddate.com (доступ 3 травня 2024 року) [27]

Таблиця 3.1 – Результати порівняння температур

Години	Температура, отримана з timeanddate.com (2 травня 2024 року) (°C)	Температура ґрунту, виміряна O518B20 (°C)
12:00	17	18
13:00	18	19,5
14:00	18	20,0
15:00	18	20,5
16:00	18	20,5

Як видно з таблиці 3.1, температура повітря, виміряна DHT22, і дані, отримані з timeanddate.com (доступ 3 травня 2024 року), збігаються. Температура ґрунту, виміряна DS18B20, завжди була трохи вищою за температуру повітря.

Порівняння вологості повітря наведено в таблиці 3.2.

Новини ▾ Світовий годинник ▾ Часові зони ▾ Календар ▾ Погода ▾ Сонце, місяць і космос ▾ Таймери ▾ Калькулятори ▾ Мій рахунок ▾ 🔍									
час	Умови			Комфорт			Опади		
	темп	Погода		Відчуває, як	Вітер	Вологість	Шанс	Сума	
06:00	☀️	11 °C	Сонячно.	10 °C	13 км/год ↙	74%	0%	-	
07:00	☀️	12 °C	Сонячно.	11 °C	14 км/год ↘	73%	0%	-	
08:00	☀️	13 °C	Сонячно.	12 °C	17 км/год →	70%	0%	-	
09:00	☀️	15 °C	Сонячно.	14 °C	18 км/год →	67%	0%	-	
10:00	☀️	16 °C	Сонячно.	17 °C	19 км/год →	61%	0%	-	
11:00	☀️	17 °C	Сонячно.	18 °C	19 км/год ↓	55%	0%	-	
12:00	☀️	17 °C	Сонячно.	18 °C	20 км/год ↙	51%	0%	-	
13:00	☀️	18 °C	Сонячно.	19 °C	21 км/год ↙	48%	0%	-	
14:00	☀️	18 °C	Сонячно.	19 °C	21 км/год ↙	45%	0%	-	
15:00	☀️	18 °C	Сонячно.	19 °C	21 км/год ↙	45%	0%	-	
16:00	☀️	18 °C	Сонячно.	20 °C	21 км/год ↙	45%	0%	-	
17:00	☀️	18 °C	Сонячно.	19 °C	21 км/год ↙	46%	0%	-	
18:00	☀️	18 °C	Сонячно.	19 °C	21 км/год ↙	47%	0%	-	
19:00	☀️	17 °C	Сонячно.	18 °C	21 км/год ↙	49%	0%	-	
20:00	☀️	16 °C	Сонячно.	16 °C	20 км/год ↙	45%	0%	-	
21:00	🌙	15 °C	ясно.	14 °C	19 км/год ↙	50%	0%	-	

\* Оновлено четвер, 2 травня 2024 р. 20:02:28 за львівським часом - Погода CustomWeather, © 2024

Рисунок 3.6 – Прогнозні дані вологості повітря, отримані з timeanddate.com (доступ 3 травня 2024 року) [27]

Таблиця 3.2 – Результати порівняння вологості повітря

Години	Відносна вологість, отримана з timeanddate.com (3 травня 2024 року) (%)	Відносна вологість, виміряна DHT22 (%)
12:00	51	48,9
13:00	48	49,4
14:00	45	45,6
15:00	45	47,1
16:00	45	46,2

Виміряна та спостережена вологість дещо відрізняються. Спостережувані відмінності можуть бути наслідком відмінностей у місцях вимірювання. timeanddate.com (доступ 3 травня 2024 року) має метеостанцію, встановлену в міжнародному аеропорту Львів. Наші дослідження проводилися в Львівському районі у вітряний день, швидкість вітру сягала 21 км/год. Незважаючи на невеликі відмінності, усі датчики працювали добре та підходять для інтелектуальної системи поливу рослин у фермерському господарстві.

#### **3.4. Тестування інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT**

Після підтвердження того, що система поливу є задовільною водо- та пилонепроникною, під'єднали вихід датчика витрати води до магістралі системи крапельного поливу. Розмістили крапельниці в різних місцях і розмістили датчик вологи та датчик температури в ґрунті біля однієї з крапельниць (рис. 3.6). Розмістили DHT22 поверх корпусу, що закриває клапан.



Рисунок 3.6 – Розташування крапельниць у ґрунті

Протягом перших кількох днів тестували систему без рослин і відкривали клапан лише на десять хвилин за раз. Швидкість потоку води через магістраль становила 10 л/год, згідно з датчиком витратоміра. Збирали воду з крапельниць за допомогою пляшки протягом десяти хвилин і вимірювали її в градуйований циліндр. Повторили тести кілька разів, а отримані результати подано на рис. 3.7. Середня швидкість потоку 0,64 л на годину потрапляє в діапазон, визначений виробником крапельниці.

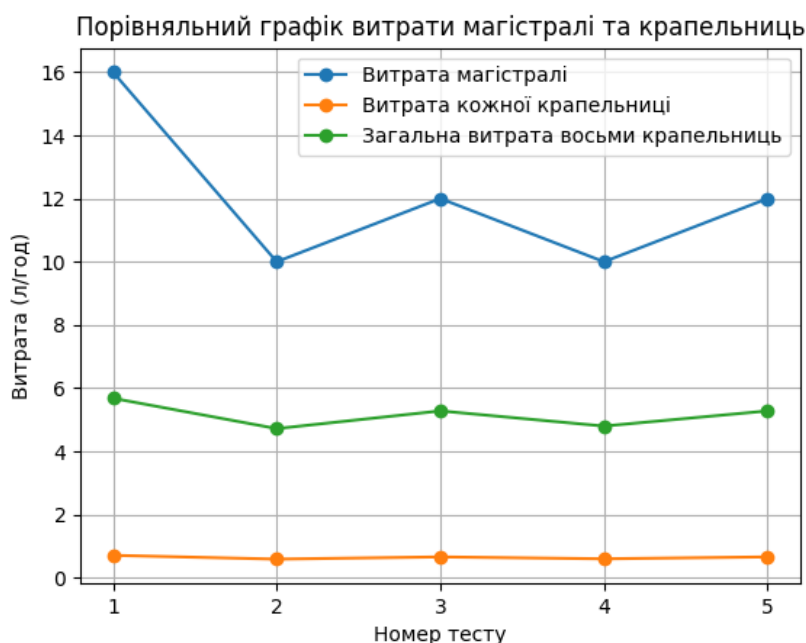


Рисунок 3.7 – Результати вимірювання витрат води у магістралі та крапельниці

Незважаючи на те, що багато рослин переносять нижчі рівні, лише рослини з посушливих регіонів переносять вологість нижче 25%. Якщо показник вологості перевищував нижню або верхню межу, ми отримували сповіщення в додатку Blynk. Здебільшого система працювала так, як очікували. ESP32 відкриває клапан, якщо ґрунт сухий, а поточний час і температура знаходяться в межах запрограмованого діапазону. Якщо ґрунт вологий, ESP32 не відкриває клапан.

Однак під час наших тестів виявили деякі проблеми. Іноді, навіть якщо ESP32 відкрив клапан один раз, ґрунт навколо датчика не був вологим. Ця затримка призвела до того, що ESP32 відкрив клапан вдруге та перезволожив ґрунт. Щоб боротися з цим, пропонуємо модифікувати мікропрограму, щоб заблокувати двічі відкривання клапана в той самий день, якщо датчик потоку води вже спрацював раніше того ж дня. Таким чином, датчик потоку підтверджує, що рослини отримали воду.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз умов праці

Аналіз умов праці під час використання системи автоматизованого поливу рослин може включати огляд різних аспектів, що стосуються безпеки, ергономіки та здоров'я працівників. Важливо забезпечити, щоб система автоматизованого поливу розроблена та встановлена у фермерському господарстві була з урахуванням безпеки працівників [11]. Це може включати правильне розташування ізоляційних матеріалів, огороження потенційно небезпечних зон, інструктаж працівників з правил безпеки тощо.

При проектуванні системи важливо враховувати зручність та ефективність робочих місць для працівників. Наприклад, регулювання висоти та кута налаштування обладнання для зменшення фізичного навантаження працівників.

Автоматизована система поливу повинна мати зручний інтерфейс для моніторингу та управління поливом. Це може включати віддалене керування через мобільний додаток або веб-панель, що дозволяє працівникам моніторити та керувати процесом поливу з будь-якого місця.

Система повинна бути налаштована на ефективне використання води та інших ресурсів. Це допоможе знизити витрати та підвищити стійкість системи до змін у ресурсному середовищі. Наявність доступних сервісних та технічних служб для регулярного обслуговування та ремонту системи також є важливою складовою. Це допоможе уникнути виникнення проблем та забезпечити безперебійну роботу системи.

Загальною метою такого аналізу є створення умов праці, які б забезпечували безпеку, комфорт та ефективність працівників під час використання системи автоматизованого поливу рослин.



#### **4.2. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників від використання системи автоматизованого поливу рослин**

Управління всією системою вестиме оператора в інформаційному центрі (ІЦ). Вся інформація, що поступає, обробляється робочою станцією і зберігається на жорсткий диск. Оператор може контролювати роботу системи прочитуючи дані з монітора.

Наявний в даний час в нашій країні комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи ряду обчислювальних центрів показує, що є можливість добитися значно великих успіхів в справі усунення дії на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Проте стан умов праці і його безпеки у ряді ІЦ ще не задовольняють сучасним вимогам. Оператори ПК, оператори підготовки даних, програмісти і інші працівники ІЦ ще стикаються з дією таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих чинників, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика та інші.

Багато співробітників ІЦ пов'язано з дією таких психофізичних чинників, як розумове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Дія вказаних несприятливих чинників призводить до зниження працездатності, викликане стомленням, що розвивається. Поява і розвиток стомлення пов'язана із змінами, що виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з гальмівними процесами в корі головного мозку.

Наприклад сильний шум викликає труднощі з розпізнаванням колірних сигналів, знижує швидкість сприйняття кольору, гостроту зору, зорову адаптацію, порушує сприйняття візуальної інформації, зменшує на 5-12% продуктивність праці. Тривала дія шуму з рівнем звукового тиску 90 дБ знижує продуктивність праці на 30-60 %.

Медичні обстеження працівників ІЩ показали, що окрім зниження продуктивності праці, високі рівні шуму приводять до погіршення слуху. Тривале знаходження людини в зоні комбінованої дії різних несприятливих чинників може привести до професійного захворювання.

Аналіз травматизму серед працівників ІЩ показує, що в основному нещасні випадки походять від дії фізично небезпечних виробничих чинників при заправці носія інформації на барабан, що обертається, при зняттю кожусі, при виконанні співробітниками невластивих ним робіт.

Основними потенційно небезпечними і шкідливими чинниками при експлуатації системи:

- ✓ небезпека ураження електричним струмом;
- ✓ підвищений рівень шуму;
- ✓ пожежна небезпека;
- ✓ іонізуюче випромінювання.

Розроблені заходи дозволяють понизити небезпечні і шкідливі чинники до допустимих норм, і тим самим забезпечити безпеку роботи оператора, що здійснює контроль роботи системи.

#### **4.3. Електробезпека під час використання системи автоматизованого поливу рослин**

Електричні установки, до яких відноситься практично все устаткування ПК, представляють для людини велику потенційну небезпеку, оскільки в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт чоловік може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: токоведущі провідники, корпусу ПК і іншого устаткування, що опинився під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають яких-небудь сигналів, які попереджають людину про небезпеку.

Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останньої через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування електроустановок Щ, що діють, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання низки організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки, що діють, при експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ і ПТБ споживачів) і «Правила установки електроустановок» (ПУЕ). Залежно від категорії приміщення необхідно прийняти певні заходи, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники мають бути виконані з подвійною ізоляцією або їх напруга живлення не повинна перевищувати 42В.

У Щ до таких приміщень можуть бути віднесені приміщення машинного залу, приміщення для розміщення сервісної і периферійної апаратури. У особливо небезпечних же приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинно перевищувати 12В, а робота з напругою не вище 42В вирішується тільки із застосуванням індивідуальних засобів захисту (діелектричних рукавичок, килимків і тому подібне). Роботи без зняття напруги на токоведущих частинах і поблизу них, роботи проводяться безпосередньо на цих частинах або при наближенні до них на відстань менш встановленого ПЕУ.

До цих робіт можна віднести роботи по наладці окремих вузлів, блоків. При виконанні такого роду робіт в електроустановках до 1000 В необхідне застосування певних технічних і організаційних мерів, таких як:

- ✓ огорожі, розташовані поблизу робочого місця і інших струмоведущих частин, до яких можливий випадковий дотик;
- ✓ робота в діелектричних рукавичках, або стоячи на діелектричному килимку;

✓ застосування інструменту з ізолюючими рукоятками, за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Роботи цього вигляду винні виконуватися не менше чим двома працівниками.

Відповідно до ПТЕ і ПТБ споживачам і обслуговуючому персоналу електроустановок пред'являються наступні вимоги:

✓ особи, що не досягли 18-річного віку, не можуть бути допущені до робіт в електроустановках;

✓ обличчя не повинні мати каліцтв і хвороб, що заважають виробничій роботі;

✓ обличчя повинні після відповідної теоретичної і практичної підготовки пройти перевірку знань і мати посвідчення на доступ до робіт в електроустановках.

У Щ розрядні струми статичної електрики найчастіше виникають при дотику до будь-якого з елементів ПК. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але окрім неприємних відчуттів вони можуть привести до виходу з ладу ПК. Для зниження величини виникаючих зарядів статичної електрики у Щ покриття технологічної половини слід виконувати з одношарового полівінілхлоридного антистатичного лінолеуму.

Іншим методом захисту є нейтралізація заряду статичної електрики іонізованим газом. У промисловості широко застосовуються радіоактивні нейтралізатори. До загальних заходів захисту від статичної електрики у ВЦ можна віднести загальні і місцеве зволоження повітря.

#### **4.1. Пожежна безпека**

Пожежна безпека є важливим аспектом у будь-якому контексті, включаючи використання систем автоматизованого поливу рослин. У

фермерських господарствах варто врахувати потребу впровадження низки заходів для забезпечення пожежної безпеки:

#### *Вибір безпечних матеріалів*

Використання матеріалів, які не піддаються вогню або мають високий рівень вогнестійкості, може допомогти у зменшенні ризику пожежі.

#### *Коректне розташування обладнання*

Важливо розташовувати систему поливу таким чином, щоб уникнути можливого контакту з джерелами вогню або сприяти його поширенню. Наприклад, обладнання не повинно бути розташоване над джерелами тепла або поблизу легкозаймистих матеріалів.

#### *Перевірка електричної безпеки*

Будь-яке електричне обладнання, яке використовується в системі автоматизованого поливу, повинно бути перевірене на відповідність електробезпеці. Це включає перевірку електричних з'єднань, захисне відключення, та ізоляцію від вологи.

#### *Моніторинг системи*

Пожежна безпека може бути покращена шляхом встановлення систем моніторингу, які виявляють можливі несправності або надмірний нагрів у обладнанні. Це дозволяє вчасно виявляти потенційні загрози та уникати пожеж.

#### *Пожежний план та навчання*

Важливо мати пожежний план, який включає процедури евакуації та використання пожежних засобів. Працівники повинні бути навчені правильно реагувати у випадку виникнення пожежі та використання пожежних засобів, таких як вогнегасники.

Загальною метою є забезпечення безпечного використання систем автоматизованого поливу рослин, шляхом уникнення можливих загроз пожежі та вжиття відповідних заходів безпеки.

## РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ  
ЗРОШЕННЯ ПОЛІВ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

Автоматизація процесу зрошення полів фермерських господарств може принести значні економічні та екологічні вигоди. Завдяки економії коштів на воду, робочу силу та підвищенню врожайності, автоматизовані системи зрошення можуть окупитися за відносно короткий проміжок часу.

Насамперед визначаємо витрати на автоматизацію системи зрошення ( $C_{auto}$ ) за формулою:

$$C_{auto} = C_{inst} + C_{equi} + C_{main}, \quad (5.1)$$

де  $C_{inst}$  – витрати на встановлення системи автоматизації;  $C_{equi}$  – вартість необхідного обладнання;  $C_{main}$  – витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Очікувані економії від автоматизації ( $S_{auto}$ ) визначаються за формулою:

$$S_{auto} = S_{wat} + S_{ener} + S_{lab}, \quad (5.2)$$

де  $S_{wat}$  – економія витрат на воду;  $S_{ener}$  – економія витрат на енергію;  $S_{lab}$  – економія на робочій силі.

Показник повернення інвестицій ( $ROI$ ) визначається за формулою:

$$ROI = \frac{S_{auto} - (C_{auto} \cdot 0,1)}{C_{auto} \cdot 0,1} \cdot 100\%. \quad (5.3)$$

Припустимо, що фермерське господарство встановлює автоматизовану систему зрошення для полів. Витрати на встановлення складають 10000\$, вартість обладнання 5000\$, а щорічні витрати на технічне обслуговування та ремонт оцінюються у 1000\$.

За даними досліджень, автоматизована система зрошення може щорічно зменшити витрати на воду на 3000\$, витрати на енергію на 2000\$ і витрати на робочу силу на 1500\$.

Виконаємо розрахунок витрати на автоматизацію системи зрошення ( $C_{auto}$ ) за формулою (5.1):

$$C_{auto} = 10000 + 5000 + 1000 = 16000\$.$$

Виконаємо розрахунок економії від автоматизації ( $S_{auto}$ ) визначаються за формулою (5.2):

$$S_{auto} = 3000 + 2000 + 1500 = 6500\$.$$

Виконаємо розрахунок показника повернення інвестицій ( $ROI$ ) визначається за формулою (5.3):

$$ROI = \frac{6500 - 1600}{1600} \cdot 100\% = 30,6\%.$$

У нашому випадку для фермерського господарства  $ROI$  виявився додатнім, що вказує на те, що інвестиція в автоматизовану систему зрошення може не бути економічно вигідною в даному контексті.  $ROI=30,6\%$ , що означає, що фермерське господарство отримає прибуток в розмірі  $30,6\%$  від суми, яку інвестували у автоматизовану систему поливу рослин.



## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Зрошення є важливим фактором, що впливає на врожайність сільськогосподарських культур. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році в Україні було зрошено лише 20% сільськогосподарських угідь. Невчасне зрошення у посушливі роки призводить до значних втрат врожаю. Отже, тема кваліфікаційної роботи, яка стосується автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств, є достатньо актуальною на даний час.

Щоб підвищити ефективність, використовують інтелектуальні системи зрошення рослин у фермерських господарствах широко використовують датчики IoT. Залежно від типу даних, які збираються, датчики ґрунту, погоди та стану рослин IoT можна використовувати в розумному рішенні для зрошення (рис. 1.1). Типи датчиків IoT для розумного зрошення сільськогосподарських угідь представлено на рис. 1.2. До них належать ґрунтові датчики, датчики погоди, датчики, що встановлюються на рослинах.

Залежно від того, як вода розподіляється по полю, ви можете вибрати різні типи зрошувальних систем, які можна покращити за допомогою інтелектуального програмного забезпечення для зрошення. Найпоширенішими є заливні, спринклерні, центропровідні, крапельні системи та системи мікрозрошення. Заслуговує на увагу проектування автоматизованих систем зрошення з використанням Інтернету речей.

Нами виконано аналіз існуючих автоматизованих систем зрошення полів фермерських господарств. Встановлено, що найкраща схема автоматизованої системи зрошення рослин на основі Arduino залежить від ваших потреб і пріоритетів фермерських господарств. Схема на рис. 1.6 підходить, якщо фермерські господарства шукають найдешевше рішення з меншим радіусом доступу. Схема на рис. 1.7 підходить, якщо для фермерські господарства потребують більшого радіусу доступу, однак вони є дорожчі. Схема на рис. 1.8

підходить, якщо для фермерських господарств потрібна максимальна гнучкість, адже вона забезпечує найменшу вартість і найбільший радіус доступу.

Нами подано особливості автоматизації процесу зрошення полів фермерських господарств. Встановлено, що можна використовувати Інтернет речей (IoT) у будь-якій програмі, яка потребує збору даних, автоматизації або контролю. Із зростанням популярності IoT зростає кількість ідей навколо розумних сільськогосподарських технологій в тому числі і поливу полів із рослинами (рис. 2.3).

Нами проаналізовано інтелектуальні системи поливу рослин. Вони мають бездротовий зв'язок, стосуються різних способів зрошення, використовують різні датчики. Вони забезпечують моніторинг процесу зрошення, контроль та планування із використанням IoT.

На підставі виконаного аналізу нами пропонується автоматизувати процес зрошення полів фермерських господарств. Пропонується використовувати мікроконтролер ESP32. ESP32 дешевий, має вбудований Wi-Fi, а Blynk IoT офіційно підтримує ESP32. Пропонуємо покращити автоматичний полив. ESP32 враховує фактичний час доби, вологість ґрунту та температуру ґрунту перед відкриттям клапана та поливом рослин. Разом із вологістю та температурою ґрунту ESP32 також відстежує вологість і сповіщати користувача, коли вологість занадто низька або занадто висока. Пропонується встановлювати тривалість поливу рослин через систему крапельного поливу за допомогою датчика потоку.

Нами здійснено вибір засобів для інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT. Основними апаратними компонентами системи є мікроконтролер ESP32, датчик вологи DFRobot, датчик температури DS18B20, датчик вологості повітря DHT22, датчик витрати води FS300A, електромагнітний клапан Hunter PGV-101G, реле та понижуючий трансформатор.

Запропонована схема архітектури інтелектуальної системи крапельного зрошення з підтримкою IoT показана на рис. 3.1 базується на вибраних

апаратних компонентах системи. Нами використано погодинні звіти про погоду, щоб встановити ранковий період зрошення з 5 ранку до 8 ранку та вечірній період. зрошення з 18.00 до 20.00 вечора. У цей час погода зазвичай тепла, а температура між 12 °C і 20 °C, як показано на рис. 3.2.

Нами розроблена блок-схема, що показує логіку, запрограмовану в ESP32. Коли вмикається система, ESP32 ініціалізує свою енергонезалежну пам'ять (NVS), флеш-пам'ять, Wi-Fi, операційну систему реального часу (RTOS), датчик вологості ґрунту, датчик температури, датчик вологості повітря та датчик потоку. Потім ESP32 підключається до серверів Blynk і перевіряє вміст вологи в ґрунті, температуру та вологість. Якщо ґрунт сухий, але поточний час не входить у часові межі поливу, ESP32 не відкриє клапан. Так само, якщо температура не відповідає заданому діапазону, ESP32 не відкриє клапан. Якщо ґрунт вологий під час перевірки вологості, ESP32 триматиме клапан закритим.

Підключили датчик температури DS18B20 до ESP32 за допомогою GPIO (рис. 3.5). Керування GPIO відбувається з допомогою матриці GPIO та відповідних мультиплексорів. Матриця та мультиплексори конфігуруються та керуються спеціальними регістрами. Програмуючи мікроконтролер, у своєму коді записують дані в певні регістри (рис. 3.7).

Щоб перевірити точність вимірювань датчиків у зовнішньому середовищі, взяли показання з датчика температури ґрунту DS18B20 і датчика температури й вологості повітря DHT22 і порівняли їх із даними, зібраними з [timeanddate.com](http://timeanddate.com). Тест проводився протягом 5 годин 3 травня 2024 року. Як видно з таблиці 3.1, температура повітря, виміряна DHT22, і дані, отримані з [timeanddate.com](http://timeanddate.com) (доступ 3 травня 2024 року), збігаються. Температура ґрунту, виміряна DS18B20, завжди була трохи вищою за температуру повітря.

Після підтвердження того, що система поливу є задовільною водо- та пилонепроникною, під'єднали вихід датчика витрати води до магістралі системи крапельного поливу. Розмістили крапельниці в різних місцях і розмістили датчик вологи та датчик температури в ґрунті біля однієї з

крапельниць (рис. 3.6). Розмістили DHT22 поверх корпусу, що закриває клапан. Результати вимірювання витрат води у магістралі та крапельниці показано на рисю 3.7.

Для працівників, які будуть монтувати та обслуговувати автоматизовану систему поливу рослин розроблено заходи із охорони праці.

Виконано розрахунок економічної ефективності. Для фермерського господарства ROI виявився додатнім, що вказує на те, що інвестиція в автоматизовану систему зрошення може не бути економічно вигідною в даному контексті.  $ROI=30,6\%$ , що означає, що фермерське господарство отримає прибуток в розмірі 30,6% від суми, яку інвестували у автоматизовану систему поливу рослин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агровсесвіт. URL: <https://agrovsesvit.com/category/drip-irrigation-technology/>
2. Бакало О.О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці / О.О. Бакало, Ю.М. Пилипенко // Технології та дизайн. – 2018. – № 3. – С. 1-9.
3. Бондаренко М. П. Основи автоматичного управління: Навчальний посібник. К.: Видавничий центр «Академія», 2006. 320 с.
4. Гринь О.М., Іванов В.І., Кохан Б.А. Системи автоматичного управління: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 422 с.
5. Денисов С.Ю. Устройство для автоматического полива растений на платформе Arduino / С.Ю. Денисов, Е.Е. Симаков // Юный ученый. – 2017. – №3. – С. 40-45. Системи обробки інформації, 2019, випуск 2 (157).
6. Джерело І. І. Автоматизація технологічних процесів та виробництва: підручник. Х.: Видавництво «Фактор», 2011. 272 с.
7. Історичні дані про погоду у Львові – Weather Spark. Available online: <https://weatherspark.com/s/91475/0/Average-Spring-Weather-in-Lviv-Ukraine#Figures-Temperature>
8. Ключко Ю.І. Розробка інтелектуальної системи керування освітленням “розумного будинку” / Ю.І. Ключко, Б.М. Злотенко // Технології та дизайн. – 2015. – № 2. – С. 36-42.
9. Курган Б.І., Калиниченко В.П. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва: Навчальний посібник. К.: Видавництво «Українські технології», 2010. 320 с.
10. Лагунова І.А., Кузьмін О.В., Цибульський Р.Б. Теорія автоматичного регулювання: підручник. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2013. 478 с.

11. Лемішка, О. М. Організація охорони праці в умовах автоматизації виробничих процесів : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Слово», 2018. 256 с.

12. Лубко Д.В. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика / Д.В. Лубко, Ю.О. Литвин // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2017. – №32 (1254). – С. 62-67.

13. Методичні вказівки з охорони праці при використанні автоматизованих систем управління : посібник. Відп. за вип. М. М. Ковальов, А. М. Савченко. Харк. політехн. ін-т, Каф. АСУ. Харків : ХПІ, 2010. 52 с.

14. Методичні рекомендації з охорони праці при автоматизації технологічних процесів: навчальний посібник. Укр. держ. ун-т харчових технологій ; уклад. О. Ю. Гончар, В. О. Лабунець, О. І. Лембіна та ін. Київ : Українська державна академія харчових технологій, 2016. 104 с.

15. A. Kumar ,A.Kamal,M. O. Arshad,T. Vadamala, S. Mathavan. Smart Irrigation Using Low-Cost Moisture Sensors and XBee-based Communication”, 978-1-4799-7193-0/14, IEEE 2014 Global Humanitarian Technology Conference.

16. Angel C., Asha S. A Study on Developing a Smart Environment in Agricultural Irrigation Technique. International Journal of Ambient Systems and Applications (IJASA), 2015, Vol. 3. P. 289-294.

17. Bellis, M. Farm Machinery and Technology Changes from 1776 to 1990. Available online: <https://www.thoughtco.com/american-farm-tech-development-4083328>.

18. Bwambale, E.; Abagale, F.K. Smart Irrigation Monitoring and Control. In Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies; Zhang, Q., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 1–7.

19. Carberry, A. How to Choose the Best Time for Watering a Garden: 7 Steps. Available online: <https://www.wikihow.com/Choose-the-Best-Time-for-Watering-a-Garden>.

20. DHT22 Temperature-Humidity Sensor–Waveshare Wiki. Available online: [https://www.waveshare.com/wiki/DHT22\\_Temperature-Humidity\\_Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor)
21. DS18B20–Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Available online: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>
22. El Mezouari, A.; El Fazziki, A.; Sadgal, M. Smart Irrigation System. In Proceedings of the 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2022, Nantes, France, 22–24 June 2022; pp. 3298–3303.
23. G3-4 Water Flow Sensor | Seed Studio Wiki. Available online: [https://wiki.seeedstudio.com/G3-4\\_Water\\_Flow\\_sensor/](https://wiki.seeedstudio.com/G3-4_Water_Flow_sensor/)
24. Gamal, Y.; Soltan, A.; Said, L.A.; Madian, A.H.; Radwan, A.G. Smart Irrigation Systems: Overview. IEEE Access 2023, 4.
25. Ghosh, S.; Sayyed, S.; Wani, K.; Mhatre, M.; Hingoliwala, H.A. Smart irrigation: A smart drip irrigation system using cloud, android and data mining. In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Advances in Electronics, Communication and Computer Technology (ICAECCT), Rajarshi Shahu College of Engineering, Pune, India, 2–3 December 2016.
26. Gomathy, C.K.; Vamsikumar, A.; Karthik, B.; Purushothamreddy, A. The smart irrigation system using IoT. Int. Res. J. Eng. Tech. 2021, 8, 462–468.
27. Hourly Forecast for Doha, Qatar. Available online: <https://www.timeanddate.com/weather/qatar/doha/hourly>
28. Husni, N.L.; Dampito; Abdurrahman; Evelina; Handayani, A.S.; Rasyad, S.; Anisah, M. Modified Design of Water Metering System. J. Phys. Conf. Ser. 2020, 1500, 012018.
29. Koehler, K. How to Grow Green Onions: Your Complete Guide. Available online: <https://a-z-animals.com/blog/how-to-grow-green-onions-your-complete-guide/>



30. Koyuncu, H.; Gunduz, B.; Koyuncu, B. Construction of 3D Soil Moisture Maps in Agricultural Fields by Using Wireless Sensor Networks. *Gazi Univ. J. Sci.* 2021, 34, 84–98.
31. Mabrouki, J.; Azoulay, K.; Elfanssi, S.; Bouhachlaf, L.; Mousli, F.; Azrou, M.; El Hajjaji, S. Smart System for Monitoring and Controlling of Agricultural Production by the IoT. In *IoT and Smart Devices for Sustainable Environment*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing; Azrou, M., Irshad, A., Chaganti, R., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 103–115.
32. Mahir Dursun and Semih Ozden, “A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors” *Scientific Research and Essays*, 2012, Vol. 6(7), pp. 1573-1582.
33. Maia, R.F.; Netto, I.; Tran, A.L.H. Precision agriculture using remote monitoring systems in Brazil. In *Proceedings of the 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, San Jose, CA, USA, 19–22 October 2017; pp. 1–6.
34. Mangi, N. Performance and evaluation of drip irrigation system, and its future advantages. *Sch. Rep.* 2020, 4, 27–41.
35. Mitras Trading Co. WLL | All Purpose Potting Soil. Available online: <https://www.mitraswll.com/all-purpose-potting-soil-OF.html#>
36. Mohy-eddine, M.; Guezzaz, A.; Benkirane, S.; Azrou, M. IoT-Enabled Smart Agriculture: Security Issues and Applications. In *Artificial Intelligence and Smart Environment*. ICAISE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems; Farhaoui, Y., Rocha, A., Brahmia, Z., Bhushab, B., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2023; Volume 635, pp. 566–571.
37. Muzdrikah, F.S.; Nuha, M.S.; Rizqi, F.A. Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193). In *Proceedings of the 2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta, Indonesia, 7–8 August 2018.
38. Nagahage, E.A.A.D.; Nagahage, I.S.P.; Fujino, T. Calibration and Validation of a Low-Cost Capacitive Moisture Sensor to Integrate the Automated Soil Moisture Monitoring System. *Agriculture* 2019, 9, 141.

39. Nikhil Agrawal, Siemens Noida, Smita Singhal. Smart Drip Irrigation System Using Raspberry Pi and Arduino. 978-1-4799-8889-1, May 2015, IEEE.
40. Obaideen, K.; Yousef, B.A.; AlMallahi, M.N.; Tan, Y.C.; Mahmoud, M.; Jaber, H.; Ramadan, M. An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus* 2022, 7, 100124.
41. Odiagbe, M.; Eronu, E.M.; Shaibu, F.E. An Effective Water Management Framework Based on Internet of Things (IoT) Technology. *Eur. J. Eng. Res. Sci.* 2019, 4, 102–108.
42. Pereira, G.P.; Chaari, M.Z. Comparison of Blynk IoT and ESP Rainmaker on ESP32 as beginner-friendly IoT solutions. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Internet of Things (ICIOT 2022)*, Honolulu, HI, USA, 10–14 December 2022.
43. Qatar Historical Past Weather | Weather25.com. Available online: <https://www.weather25.com/asia/qatar?page=past-weather#day=2&month=3>
44. Ranjan, S.; Sow, S. Drip Irrigation System for Sustainable Agriculture. *Agric. Food* 2020, 2, 67–69.
45. Saban, M.; Bekkour, M.; Amdaouch, I.; El Gueri, J.; Ait Ahmed, B.; Chaari, M.Z.; Ruiz-Alzola, J.; Rosado-Muñoz, A.; Aghzout, O.A. Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan. *Sensors* 2023, 23, 2575.
46. Sathyapriya, E.; Naveenkumar, M.R.; Dhivya, V. An Empirical Study on Drip Irrigation. In *Proceedings of the National Conference on Micro Irrigation*, TNAU, Coimbatore, India, 1–3 March 2017.
47. Shiny Rajendrakumar, V K Parvati, Dr. Rajshekarappa. An Efficient Irrigation System for Agriculture. Presented in *International Conference on Communication, Computing, and Internet of Things (IC3IoT - 2018)* IEEE, on 15th to 17th February 2018, Chennai. (IEEE), pp 151-155.
48. Smart Irrigation in Agriculture: How IoT Takes AgTech to the Next Level. URL: <https://intellias.com/smart-irrigation-in-agriculture/>

49. Swetha, R.N.; Nikitha, J.; Pavitra, B. Smart Drip Irrigation System for Corporate Farming-Using Internet of Things. *Int. J. Creat. Res. Thoughts* 2017, 5, 1846–1851.
50. Types of Agricultural Water Use | Other Uses of Water | Healthy Water | CDC. Available online: <https://www.cdc.gov/healthywater/other/agricultural/types.html>
51. Verdouw, C.; Wolfert, S.; Tekinerdogan, B. Internet of Things in Agriculture. In *CABI Reviews*; CABI International: Wallingford, UK, 2016; pp. 1–12.
52. Verma, D.K.; Mishra, A.; Mishra, K. Role of IOT in Introducing Smart Agriculture. *Int. Res. J. Eng. Tech.* 2022, 9, 883–887.
53. Waterproof Capacitive Soil Moisture Sensor SKU SEN0308-DFRobot. Available online: [https://wiki.dfrobot.com/Waterproof\\_Capacitive\\_Soil\\_Moisture\\_Sensor\\_SKU\\_SEN0308](https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0308)
54. What Humidity Do Houseplants Need?–Be.Green. Available online: <https://be.green/en/blog/what-humidity-houseplants-need>
55. When to Water–Southern Living Plants. Available online: <https://southernlivingplants.com/planting-care/when-to-water/>
56. Woods, M.; Woods, M.B. *Ancient Agricultural Technology: From Sickles to Plows*; Twenty-First Century Books: Minneapolis, MO, USA, 2011; pp. 98–99. ISBN 978-0-7613-7269-1.
57. Yudhana, A.; Kusuma, A.C. Water quality monitoring at paddies farming based on android. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2018, 403, 012042.
58. Yusuf, S.D.; Comfort, S.L.D.; Umar, I.; Loko, A.Z. Simulation and Construction of a Solar Powered Smart Irrigation System Using Internet of Things (IoT), Blynk Mobile App. *Asian J. Agric. Hort. Res.* 2022, 9, 136–147.