

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)
Багатоканальна система автоматичного поливу на базі Arduino
(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,
групи КІУКІ-21-9

Кравцов М.І.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник Мірошник А.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ Автоматизації проектування обчислювальної техніки _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____
(шифр і назва)

Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Кравцову Марку Івановичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Багатоканальна система автополиву на базі Arduino

затверджена наказом по університету від "21" _____ 05 _____ 2025 р. № _____ 403Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 11.06.2025

3. Вихідні дані до роботи (проекту) _____

Технічне завдання на розробку системи автополиву

Специфікації мови програмування C++

Специфікації мікроконтролера AVR ATmega328P

Інтегроване середовище розробки програмного забезпечення VS Code

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Системи радіолокаційного сканування: теоретичні аспекти та аналіз існуючих рішень

Реалізація апаратної складової системи

Реалізація програмного забезпечення системи

Реалізація макетного зразка та результати дослідної експлуатації

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація (20 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

7. Дата видачі завдання 06.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження	06.05.2025 - 10.05.2025	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	10.05.2025 - 17.05.2025	
3	Розробка моделі системи	17.05.2025 - 24.05.2025	
4	Розробка апаратної платформи системи	24.05.2025 - 31.05.2025	
5	Розробка програмного забезпечення системи	31.05.2025 - 05.06.2025	
6	Проведення випробування системи	05.06.2025 - 07.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2025 - 10.06.2025	
8	Перевірка виконаного проекту керівником	10.06.2025 - 13.06.2025	
9	Захист проекту	13.06.2025 - 23.06.2025	

Здобувач



(підпис)

Кравцов М.І.

Керівник роботи (проекту)



(підпис)

старший викладач Мірошник А.М.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи містить 64 сторінок, 23 рисунки, 4 таблиці, 4 додатки, 15 джерел за переліком посилань.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ПОЛИВ, БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА, ДАТЧИК ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ, РОСЛИНИ, ARDUINO, C++.

Об'єктом розробки є багатоканальна система автоматичного поливу, призначена для підтримання оптимального рівня вологості в ґрунті.

Предметом розробки є апаратно-програмний комплекс, що забезпечує автоматизоване управління поливом залежно від показників датчиків вологості ґрунту.

Метою розробки є створення багатоканальної системи автоматичного поливу на базі мікроконтролера, яка забезпечує ефективне управління процесом поливу з урахуванням потреб різних зон, точне вимірювання рівня вологості ґрунту, а також можливість гнучкого налаштування параметрів роботи для оптимального використання водних ресурсів.

У першому розділі кваліфікаційної роботи детально проаналізовано предметну область, а саме теоретичні засади автоматизації поливу рослин та існуючі технічні рішення.

У другому розділі спроектовано апаратну складову багатоканальної системи автоматичного поливу, а також наведено аргументований вибір компонентів для її реалізації.

У третьому розділі наведено алгоритм та реалізацію програмного забезпечення системи.

В останньому розділі проведено тестування макетного зразка системи та наведено результати, які показали працездатність спроектованої системи.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains 64 pages, 23 figures, 4 tables, 4 appendices, 15 source according to the list of references.

AUTOMATED SYSTEM, IRRIGATION, MULTI-CHANNEL SYSTEM, SOIL MOISTURE SENSOR, PLANTS, ARDUINO, C++.

The object of the development is a multi-channel automatic irrigation system designed to maintain optimal soil moisture levels.

The subject of the development is a hardware-software complex that provides automated irrigation management based on the readings from soil moisture sensors.

The purpose of the development is to create a multi-channel automatic irrigation system based on a microcontroller, which ensures efficient irrigation management considering the needs of different zones, accurate measurement of soil moisture levels, and flexible adjustment of operating parameters for optimal water resource utilization.

In the first chapter of the bachelor's thesis, the subject area is analyzed in detail, focusing on the theoretical foundations of plant irrigation automation and existing technical solutions.

In the second chapter, the hardware design of the multi-channel automatic irrigation system is presented, along with a reasoned selection of components for its implementation.

The third chapter outlines the algorithm and implementation of the system's software.

The final chapter includes the testing of the system prototype and presents results demonstrating the operability of the designed system.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ..	8
Вступ	9
1 Аналіз предметної області	11
1.1 Автоматизовані системи поливу	11
1.2 Багатоканальні системи поливу	16
1.3 Роль датчиків та сенсорів у системах автоматичного поливу	18
1.3.1 Датчики вологості ґрунту	18
1.3.2 Датчики дощу	20
1.3.3 Датчики температури та освітленості	22
1.3.4 Метеостанції	24
1.4 Система керування автоматичним поливом	26
1.4 Технічне завдання на проектування	28
2 Розробка апаратної частини багатоканальної системи автоматичного поливу	30
2.1 Компоненти системи автоматичного поливу	30
2.2 Вибір технічних рішень для реалізації апаратної складової	32
2.2.1 Контролер	32
2.2.2 Водяні помпи	36
2.2.3 Елементи керування	38
2.2.4 Живлення	40
3 Розробка програмного забезпечення багатоканальної системи автоматичного поливу	42

3.1 Структура програмного забезпечення та вибір технології.....	42
3.2 Реалізація програмного забезпечення для контролера системи ..	44
4 Дослідна експлуатація макетного зразка	56
4.1 Опис макетного зразка та методики випробувань	56
4.2 Результати моделювання роботи тестового зразка.....	58
Висновки	62
ДОДАТОК А	65
ДОДАТОК Б	75
ДОДАТОК В	76
ДОДАТОК Г	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

PWM – широтно-імпульсна модуляція.

GPIO – універсальні порти вводу-виводу.

ДПС – двигун постійного струму.

ADC – аналогово-цифровий перетворювач.

RTC – годинник реального часу.

I2C – протокол обміну даними між пристроями.

°C – градус Цельсія, одиниця вимірювання температури.

м³/год – кубічний метр за годину, одиниця вимірювання об'єму води.

кПа – кілопаскаль, одиниця вимірювання тиску.

В – вольт, одиниця вимірювання електричної напруги.

А – ампер, одиниця вимірювання електричного струму.

Мікроконтролер – програмований електронний пристрій для управління апаратними компонентами системи.

Датчик вологості ґрунту – пристрій для вимірювання рівня вологості в ґрунті.

Електромагнітний клапан – пристрій для регулювання потоку рідини в трубопроводах.

Програмне забезпечення – набір інструкцій, що забезпечують функціонування системи відповідно до алгоритму.

Апаратна частина – сукупність фізичних компонентів системи, необхідних для її функціонування.

ВСТУП

Автоматизація процесів у сільському господарстві та садівництві займає важливе місце в сучасному світі, де ефективне використання ресурсів і зменшення трудових витрат є критичними чинниками успіху. Однією з ключових технологій у цьому напрямку є автоматичні системи поливу, які дозволяють забезпечити оптимальне зрошення рослин, враховуючи реальні потреби ґрунту і кліматичні умови. Традиційні методи поливу часто є неефективними та потребують багато часу і зусиль, що особливо відчутно на великих ділянках землі. У зв'язку з цим, зростає попит на сучасні рішення, які автоматизують процес поливу, забезпечуючи оптимальний рівень вологості ґрунту для кожної ділянки.

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці багатоканальної системи автоматичного поливу на базі мікроконтролера. Мета цієї роботи полягає у створенні універсальної, гнучкої та доступної системи для автоматизації поливу кількох зон одночасно. Система дозволяє контролювати полив декількох ділянок, кожна з яких може мати різні вимоги до вологості, що особливо важливо для садівників та фермерів, які обробляють різні типи рослин з урахуванням їх специфічних потреб.

Основою системи є мікроконтролер, який пропонує простоту у використанні, низьку вартість та наявність численних доступних модулів для розширення функціональності. Ця платформа дозволяє інтегрувати датчики вологості ґрунту, дощові датчики та інші сенсори, що дозволяє системі адаптувати процес поливу відповідно до поточних умов, таким чином зменшуючи перевитрати води. Використання мікроконтролера забезпечує стабільне і надійне функціонування системи, а також можливість її подальшої модернізації та налаштування відповідно до індивідуальних вимог користувача.

У процесі розробки даної системи, велика увага приділяється як апаратному, так і програмному забезпеченню, яке забезпечує автоматизацію процесу поливу без втручання користувача. Вибір програмного рішення та сенсорних модулів здійснюється з урахуванням сучасних вимог до ефективного використання водних ресурсів та енергоефективності системи.

Ця робота охоплює аналіз сучасних технологій автоматичного поливу, вибір технічних рішень для створення системи, розробку апаратної та програмної складових, а також тестування системи в умовах, наближених до реальних. Результатом є багатоканальна система, здатна автоматично контролювати полив рослин на різних ділянках, забезпечуючи їх оптимальними умовами для зростання з мінімальними зусиллями з боку користувача.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Автоматизовані системи поливу

Традиційний полив (рис.1.1) у сільському господарстві має низку значних проблем, які впливають на ефективність водоспоживання, якість врожаю та витрати на підтримку процесу зрошення. Основні труднощі пов'язані з нерівномірним розподілом води, перевитратою водних ресурсів та великим обсягом ручної праці.

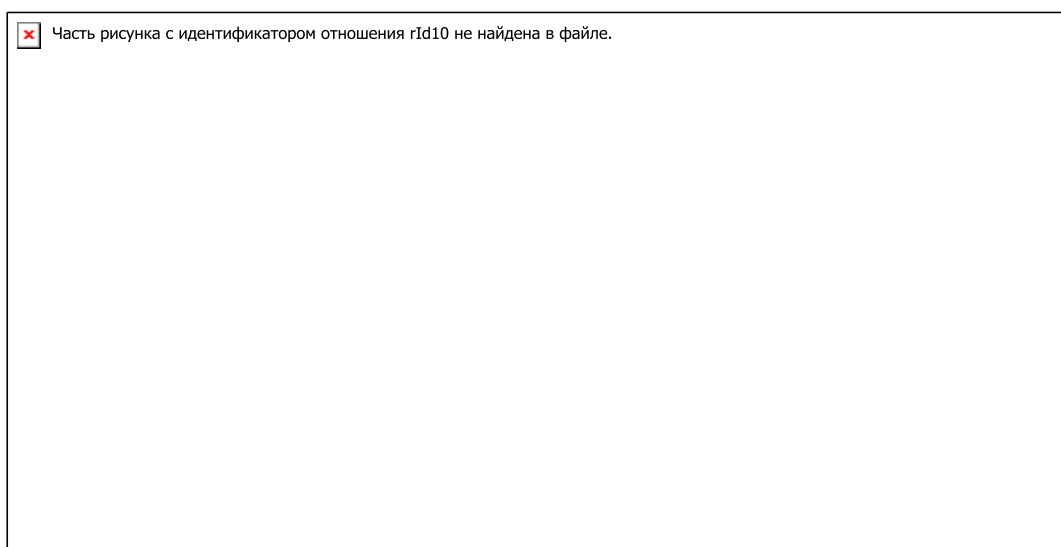


Рисунок 1.1 – Традиційний полив

Одна з головних проблем традиційного поливу — це нерівномірний розподіл води на ділянках. У багатьох випадках вода може бути доставлена нерівномірно: деякі ділянки можуть бути переполивані, а інші — недоотримувати вологу[1]. Це трапляється через наступні фактори:

– Недосконалі методи поливу. При використанні методів, таких як полив через канали або дощування, важко контролювати точну кількість води,

яка потрапляє на різні частини поля. Це призводить до нерівномірного росту рослин і втрат урожаю.

– Тип ґрунту. Різні типи ґрунту мають різну водопроникність. Наприклад, глинистий ґрунт утримує більше води, а піщаний швидше пропускає її вниз. Через це одні частини поля можуть бути надмірно зволеними, а інші недостатньо.

– Випаровування. При використанні поверхневого поливу велика частина води випаровується, не досягаючи кореневої системи рослин, що робить процес менш ефективним.

Традиційні методи поливу часто призводять до значних витрат води, що є особливо проблематичним в умовах обмежених водних ресурсів та частих засух:

– Переливи та стоки. Через недосконалість системи поливу велика кількість води стікає з поверхні поля, а не використовується рослинами. Це не тільки знижує ефективність використання води, але й може спричинити ерозію ґрунту та вимивання поживних речовин.

– Підвищене випаровування. Поверхневі методи поливу, такі як дощування або відкриті канали, сприяють випаровуванню великої кількості води, що робить процес менш ефективним, особливо в спекотних регіонах. Це може призводити до великих втрат води до моменту, коли вона досягне кореневої системи рослин.

– Низька ефективність для посушливих регіонів. У регіонах із обмеженими водними ресурсами традиційні методи поливу можуть призводити до перевитрати води та недостатньої підтримки рослин, що знижує врожайність.

Традиційний полив також характеризується значними витратами на ручну працю [1], оскільки процес зрошення потребує постійного нагляду та регулювання:

– Необхідність ручного управління. Для забезпечення поливу часто потрібно переміщувати обладнання (шланги, дощувальні системи) або змінювати налаштування вручну, що вимагає значних трудових ресурсів. Це особливо ускладнюється на великих ділянках або у випадках, коли полив потребує точного регулювання.

– Нестача автоматизації. Без автоматизованих систем поливу фермери змушені регулярно контролювати стан полів, рівень вологості та стан ґрунту, що є трудомістким процесом і потребує значного залучення людських ресурсів. Це також збільшує ризик помилок, таких як неправильне налаштування тривалості поливу або часу запуску системи.

Таким чином, традиційні методи поливу мають низку суттєвих проблем, які можуть негативно впливати на сільське господарство. Нерівномірний розподіл води, неефективне використання ресурсів та високі витрати на робочу силу є основними недоліками, що роблять традиційні методи поливу малоефективними в сучасних умовах. Ці проблеми підштовхують до впровадження автоматизованих систем, які дозволяють оптимізувати процес зрошення, знижуючи витрати та підвищуючи врожайність.

Зростання кількості засух і нерівномірний розподіл опадів робить традиційні методи поливу менш ефективними. Автоматизація поливу дозволяє максимально ефективно використовувати обмежені водні ресурси та забезпечувати стабільне вирощування культур у мінливих кліматичних умовах.

Автоматизовані системи поливу (рис.1.2) надають значні переваги в порівнянні з традиційними методами. Вони дозволяють значно підвищити ефективність використання ресурсів, заощадити час, зменшити витрати на робочу силу, а також забезпечити точний і надійний контроль над процесом зрошення [1].

Автоматизовані системи поливу значно знижують потребу в ручній праці, що дозволяє фермерам або власникам земельних ділянок заощадити час на управлінні процесом зрошення:

- Автоматичне налаштування графіків. Завдяки програмуванню системи можна налаштувати автоматичний полив у певний час доби або за певними умовами (наприклад, залежно від вологості ґрунту чи погодних умов). Це дозволяє уникнути постійного ручного контролю і забезпечує своєчасне зрошення.

- Віддалене керування. Багато сучасних систем автоматизованого поливу можна контролювати дистанційно через смартфон або комп'ютер. Це дозволяє власнику відстежувати та коригувати роботу системи, навіть якщо він перебуває далеко від ділянки.

- Зниження участі людини. Робота системи налаштована таким чином, що вона функціонує автоматично, без постійного залучення людини, що дозволяє зосередитися на інших важливих завданнях.



Рисунок 1.2 – Автоматизована система поливу

Автоматизовані системи поливу забезпечують ефективніше використання води та енергії, що сприяє збереженню природних ресурсів та зниженню витрат:

- Точне дозування води. Сучасні системи використовують датчики вологості, які точно визначають, коли та скільки води потрібно рослинам. Це дозволяє уникнути переливів або недополиву, що часто трапляється при ручному поливі.

- Адаптація під погодні умови. Деякі системи поливу інтегровані з метеостанціями або використовують погодні дані для автоматичного коригування графіку поливу. Наприклад, під час дощу або підвищеної вологості система зупиняє полив, щоб уникнути перевитрати води.

- Зменшення випаровування. Автоматизовані системи можуть налаштовуватися для поливу в оптимальний час доби, наприклад, вранці або ввечері, коли випаровування мінімальне, що дозволяє знизити втрати води.

Застосування автоматизованих систем значно підвищує ефективність поливу, що позитивно впливає на здоров'я рослин і продуктивність сільського господарства:

- Рівномірний розподіл води. Системи автоматизованого поливу забезпечують рівномірний розподіл води по всій площі поля, що дозволяє уникнути нерівномірного зростання рослин. Завдяки цьому врожайність підвищується, оскільки кожна рослина отримує необхідну кількість вологи.

- Точність та контроль. За допомогою автоматизованих систем можна легко контролювати процес поливу, забезпечуючи необхідний рівень вологості для кожного типу рослин. Це особливо важливо для культур, які потребують особливих умов зрошення.

- Зниження ризику людських помилок. Оскільки система працює за запрограмованими параметрами, ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором, значно знижується. Це дозволяє уникнути недополиву або надмірного зрошення, що може вплинути на стан рослин.

Автоматизовані системи поливу забезпечують значні переваги для сільського господарства та ландшафтного дизайну. Вони не тільки дозволяють заощадити час і ресурси, але й підвищують ефективність процесу поливу, що сприяє більш рівномірному зростанню рослин і кращій врожайності. Завдяки автоматизації поливу знижується потреба в постійному ручному контролі, що робить ці системи незамінними в умовах сучасного аграрного господарства.

1.2 Багатоканальні системи поливу

Багатоканальна система поливу — це автоматизована система зрошення, яка забезпечує одночасний або почерговий полив декількох окремих зон чи ділянок [2]. Вона дозволяє ефективно керувати поливом різних зон, які можуть мати відмінні потреби у воді в залежності від типу рослин, ґрунту чи інших факторів. Кожна зона отримує оптимальний об'єм води, що підвищує загальну ефективність зрошення і дозволяє економно використовувати водні ресурси. Приклад багатоканальної системи поливу показано на рисунку 1.3.

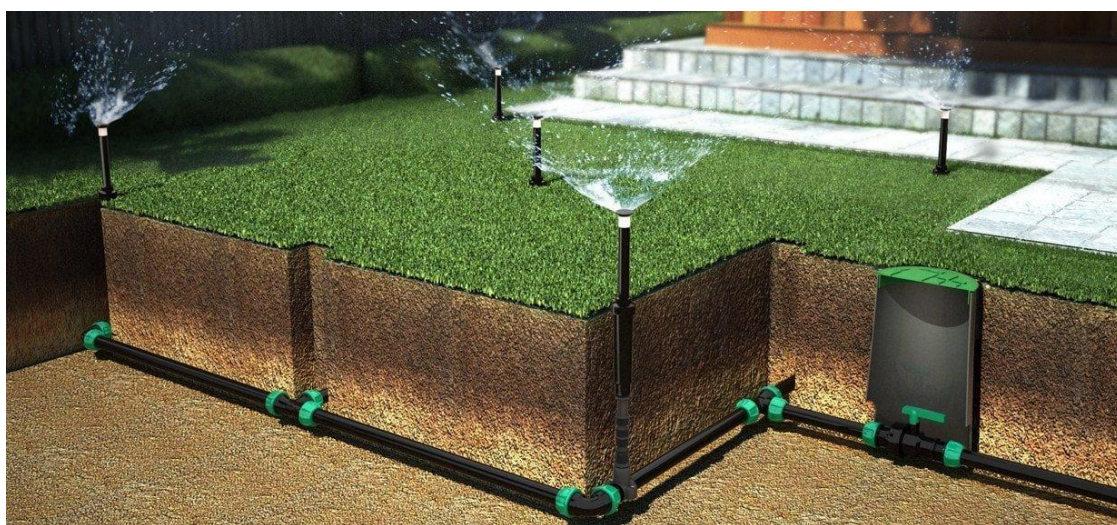


Рисунок 1.3 – Багатоканальна система поливу

Одна з ключових характеристик багатоканальних систем поливу — це можливість обслуговувати кілька зон одночасно або послідовно [2]. Наприклад, у великих сільськогосподарських угіддях чи садах можуть бути окремі ділянки з різними типами культур, які потребують різних умов поливу. Система розподіляє воду до цих зон незалежно одна від одної, дозволяючи налаштувати специфічні режими зрошення для кожної ділянки.

Індивідуальне налаштування зон. Кожна зона може мати свій режим поливу — об'єм води, час подачі, частоту поливу. Це дозволяє точно адаптувати зрошення під потреби кожної ділянки.

Гнучке планування. Система може бути налаштована на автоматичний режим роботи, коли різні зони поливаються за встановленим графіком або у відповідь на зміну зовнішніх умов (наприклад, рівня вологості ґрунту чи погодних факторів).

Багатоканальні системи підтримують різні режими поливу, що дозволяє забезпечити точний контроль над процесом зрошення:

- Регулярний (плановий) полив. Водоподача здійснюється за заздалегідь встановленим графіком у певний час доби. Це може бути щоденний полив або полив кілька разів на тиждень залежно від умов.

- Полив на основі датчиків. Деякі системи обладнані датчиками вологості ґрунту, дощу або сонця, які автоматично регулюють подачу води в залежності від умов. Наприклад, якщо ґрунт досяг необхідного рівня вологості, система припиняє полив.

- Ручний режим. У цьому режимі користувач може самостійно вмикати та вимикати полив для кожної зони за необхідності.

Завдяки автоматизації та можливості індивідуального налаштування поливу для кожної зони, багатоканальні системи дозволяють значно економити воду. Полив здійснюється саме там, де це потрібно, і в обсязі, необхідному для підтримання оптимального рівня вологості ґрунту. Це

запобігає перенасиченню рослин водою, зменшує випаровування та мінімізує втрати води.

Однією з головних переваг багатоканальних систем є автоматизація процесу зрошення, що зменшує необхідність у ручній праці. Система може працювати без постійного втручання з боку людини, що дозволяє значно зекономити час та ресурси. Це особливо актуально для великих господарств, де ручний контроль поливу вимагає значних зусиль.

Багатоканальні системи поливу можуть бути інтегровані з іншими системами управління, такими як системи клімат-контролю або метеостанції, що дозволяє створити комплексні рішення для автоматизації процесів у сільському господарстві. Це дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси та підвищувати продуктивність.

1.3 Роль датчиків та сенсорів у системах автоматичного поливу

Датчики вологості ґрунту, температури та інші сенсори є ключовими компонентами багатоканальних систем поливу, забезпечуючи автоматизоване управління зрошенням на основі реальних умов навколишнього середовища. Вони роблять систему інтелектуальною, дозволяючи їй реагувати на зміни вологості ґрунту, погодні умови та інші параметри в режимі реального часу. Це підвищує ефективність використання ресурсів і забезпечує стабільний полив, що є надзвичайно важливим у сільському господарстві.

1.3.1 Датчики вологості ґрунту

Датчики вологості відіграють центральну роль у багатоканальних системах поливу. Вони вимірюють рівень вологості ґрунту і передають ці дані до центрального контролера системи. На основі отриманої інформації система автоматично визначає, коли і в якій зоні необхідно увімкнути полив. Приклад датчика вологості наведено на рисунку 1.4.

Основна задача датчика вологості ґрунту — вимірювати вміст вологи у ґрунті[3]. Це досягається завдяки здатності ґрунту змінювати свою електропровідність залежно від рівня вологості. Більшість сучасних датчиків працюють за допомогою двох основних методів:

1. Резистивний метод: ґрунтова волога зменшує опір електричному струму, і на основі цього вимірюється вміст вологи.

2. Капацитивний метод: датчики використовують зміни діелектричних властивостей ґрунту для вимірювання рівня вологості, не маючи прямого контакту з водою, що робить їх більш довговічними.



Рисунок 1.4 – Датчик вологості ґрунту

Переваги використання датчика вологості у системі автоматичного поливу:

– Точний контроль вологості: Датчики дозволяють контролювати рівень вологості в різних зонах, що допомагає уникнути як перенасичення, так і пересихання ґрунту. Наприклад, якщо датчик вказує, що рівень вологості в одній зоні занадто низький, система активує полив для цієї ділянки, тоді як інші зони можуть не потребувати води в цей момент.

– Економія води: Завдяки постійному моніторингу вологості система може точно дозувати воду, що значно зменшує її споживання. Це особливо важливо у районах з обмеженими водними ресурсами або в умовах зміни клімату.

– Зменшення трудових витрат: Системи з автоматичними датчиками вологості не потребують постійного контролю людиною, знижуючи потребу у фізичному обслуговуванні.

У багатоканальних системах поливу, де кожна зона може мати різні потреби у воді, датчики вологості допомагають автоматично коригувати обсяги води для кожної зони. Вони можуть працювати разом з іншими датчиками, такими як датчики температури або атмосферного тиску, для ще більш точного контролю.

1.3.2 Датчики дощу

Датчики дощу використовуються для запобігання надмірному поливу під час або після дощу [3]. Вони вловлюють опади і передають сигнал контролеру, який тимчасово припиняє або скорочує полив. Приклад датчика дощу представлено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Датчик дощу

Датчики дощу працюють на основі виявлення факту випадання опадів. Їх функція полягає в тому, щоб припинити або скоригувати полив, якщо дощ

уже забезпечує природне зволоження ґрунту. Найпоширеніші методи виявлення дощу:

1. Механічні датчики: Найпростіший тип датчиків, які працюють за допомогою спеціальної пластини або важеля, що змінює положення під вагою крапель дощу. Цей рух активує механізм, що відправляє сигнал до системи управління поливом про необхідність зупинки.

2. Ємнісні та провідні датчики: Більш технологічні моделі використовують зміну електричних параметрів (наприклад, провідності) під впливом вологи. Краплі дощу змінюють електричну провідність контактів датчика, що служить сигналом для системи управління.

3. Інфрачервоні сенсори: Цей тип датчиків може виявляти зміни інфрачервоного випромінювання, викликані присутністю води на поверхні датчика. Інфрачервоні сенсори можуть виявляти навіть незначні опади, що робить їх дуже точними.

Використання датчиків дощу у системах автоматичного поливу має багато переваг, основні з яких:

– Запобігання надмірному поливу: Якщо датчик фіксує дощ, система може автоматично відключити полив, що запобігає витраті води та зберігає природні ресурси. Така система дозволяє уникати застою води та ерозії ґрунту, що може траплятися через надмірне зрошення після опадів.

– Оптимізація режимів поливу: Після того, як дощ припиняється, система може автоматично відновити полив, якщо рівень вологості знижується до встановленого порогу.

– Запобігання ерозії ґрунту: Під час великих опадів надмірний полив може спричиняти ерозію. Датчики дощу автоматично зупиняють подачу води, що допомагає захистити структуру ґрунту.

1.3.3 Датчики температури та освітленості

Інші важливі сенсори, такі як датчики температури і освітленості, дозволяють системі адаптуватися до зміни погодних умов і часу доби [3]. Наприклад, у спекотну погоду або при високому рівні освітленості ґрунт пересихає швидше, тому система може збільшити частоту поливу.

Датчики температури (рис.1.6) використовуються в багатоканальних системах поливу для моніторингу кліматичних умов і автоматизації процесу поливу залежно від температури навколишнього середовища. Вони є важливим компонентом у підтриманні оптимального зволоження ґрунту, оскільки температура безпосередньо впливає на випаровування вологи та потреби рослин у воді.



Рисунок 1.6 – Датчик температури ґрунту

Датчики температури перетворюють температурні зміни на електричний сигнал, який система поливу використовує для прийняття рішень. Найпоширеніші типи датчиків:

- Термопари: Вони працюють на основі зміни електрорушійної сили між двома різними металами при зміні температури.
- Термістори: Це напівпровідникові прилади, опір яких змінюється в залежності від температури.
- Цифрові датчики температури: Такі датчики, як DS18B20, надають цифрові значення температури та можуть бути легко інтегровані з мікроконтролерами для автоматизації.

Датчики освітленості вимірюють інтенсивність сонячного світла і можуть використовуватися для контролю рівня освітленості в сільському господарстві або теплицях. Вони допомагають керувати поливом і визначати найкращий час для поливу в залежності від рівня сонячної активності.

Ці датчики реагують на інтенсивність світла, зазвичай використовуючи фоторезистори або фотодіоди, що змінюють свої електричні характеристики в залежності від кількості світла, яке на них потрапляє. Деякі сучасні моделі оснащені функцією вимірювання спектрального складу світла, що дозволяє визначати не лише інтенсивність, а й якість освітлення.

Регулювання часу поливу. В умовах сильного сонця полив може бути менш ефективним через швидке випаровування води. Датчики освітленості можуть допомогти налаштувати полив на більш ефективні часи, наприклад, вранці або ввечері, коли сонячна активність нижча.

Аналіз освітлення для оптимального росту рослин. Для рослин, що мають чутливість до кількості світла, датчики можуть автоматизувати полив у певні години для уникнення стресу від надмірної або недостатньої освітленості.

Переваги використання датчиків температури і освітлення у системах автоматичного поливу:

- Підвищення точності: Дозволяє автоматизовано коригувати полив відповідно до фактичних кліматичних умов.

- Енергоефективність: Дозволяє оптимізувати використання ресурсів шляхом зменшення поливу в холодні дні або підвищення ефективності в жаркі дні.
- Економія води: Дозволяє уникати поливу в періоди сильної сонячної активності, коли вода швидко випаровується.
- Поліпшення продуктивності рослин: Автоматизоване налаштування часу поливу відповідно до інтенсивності сонця дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту.

1.3.4 Метеостанції

Метеостанція — це багатофункціональна система, яка забезпечує моніторинг погодних умов і є важливою складовою сучасних автоматизованих систем поливу [4]. Вони збирають дані про температуру, вологість повітря, швидкість і напрям вітру, кількість опадів та інші параметри, які можуть впливати на потреби в поливі. Інтеграція метеостанцій у багатоканальні системи поливу дозволяє оптимізувати використання води та забезпечити більш точне керування процесами зрошення.

Основні компоненти метеостанції:

- Датчики температури і вологості повітря: Вимірюють температуру та вологість навколишнього середовища, що дозволяє коригувати інтенсивність поливу. Наприклад, при високій вологості повітря потреба в додатковому зрошенні зменшується.
- Анемометр: Використовується для вимірювання швидкості вітру. Це корисно, оскільки полив при сильному вітрі може бути неефективним через випаровування води та її нецільове розпилення. Система може автоматично вимикати полив, якщо виявляється сильний вітер.

– Датчик дощу: Вимірює кількість опадів, що дозволяє системі припинити або зменшити полив під час дощових періодів. Цей сенсор допомагає уникнути перевитрати води та перезволоження ґрунту.

– Барометр: Вимірює атмосферний тиск, що може сигналізувати про наближення змін у погоді, таких як опади або посуха. Залежно від цього, система поливу може заздалегідь скоригувати режим зрошення.

Приклад метеостанції наведено на рисунку 1.7.

Деякі багатоканальні системи можуть бути інтегровані з метеостанціями, які забезпечують прогноз погоди і додаткову інформацію, що використовується для точного налаштування режимів поливу. Метеостанції можуть повідомляти про можливі зміни температури, опади або сильний вітер, що дозволяє системі поливу адаптувати свої режими заздалегідь.



Рисунок 1.7 - Метеостанція

Переваги використання метеостанцій у системах автоматизованого поливу:

- Оптимізація поливу: Дані метеостанцій дозволяють системі автоматично адаптувати полив до реальних погодних умов, що значно знижує витрати води. Наприклад, після дощу або при високій вологості система може зменшити або повністю зупинити полив на певний час.
- Економія ресурсів: Використання метеостанцій дозволяє знизити споживання води та енергії, адже полив виконується тільки тоді, коли це дійсно необхідно. В умовах змін клімату та обмежених водних ресурсів це має критичне значення.
- Підвищення врожайності: Завдяки точному керуванню поливом, рослини отримують оптимальну кількість вологи, що сприяє їхньому здоровому росту та підвищує врожайність.
- Прогнозування і попередження: Метеостанції можуть прогнозувати зміни погоди, дозволяючи аграріям заздалегідь готуватися до умов посухи або надмірних опадів. Це забезпечує стабільніший ріст культур і знижує ризики для фермерів.

1.4 Система керування автоматичним поливом

Ключовим елементом роботи автоматизованої багатоканальної системи є інтеграція всіх сенсорних даних в єдину систему керування. Контролер системи приймає дані від усіх сенсорів і на основі них приймає рішення про те, коли і в якій зоні активувати полив, які режими використовувати, та як змінювати параметри поливу в залежності від зовнішніх умов[3]. Приклад контролера системи поливу наведено на рисунку 1.8.

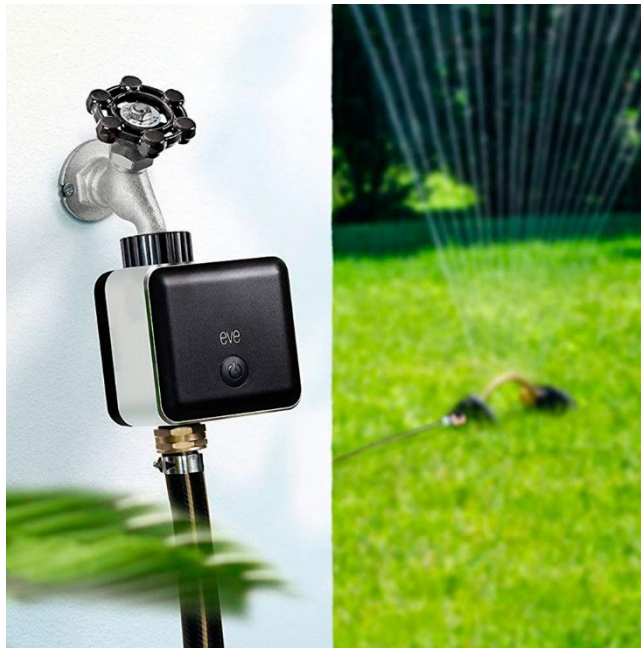


Рисунок 1.8 – Контролер системи автоматичного поливу

Контролери в автоматизованих системах поливу є "мозком" системи, який керує процесами зрошення на основі вхідних даних з різних сенсорів (датчиків вологості, дощу, температури тощо). Основна задача контролера полягає у зборі інформації з сенсорів, обробці цієї інформації за певними алгоритмами і керуванні електричними клапанами або насосами для подачі води у потрібний час і в потрібній кількості. Особливо ефективним рішенням для контролерів є використання мікроконтролерів, таких як Arduino або ESP32, які дозволяють інтегрувати різні функції та підключати численні датчики й виконавчі елементи.

Основні переваги використання мікроконтролерів у якості контролера системи автоматичного поливу:

1. Мікроконтролери дозволяють налаштувати систему поливу під специфічні потреби різних культур або умов. Вони можуть бути запрограмовані для активації поливу залежно від показників вологості ґрунту, погодних умов чи часу доби.

2. Оскільки сучасні мікроконтролери підтримують підключення великої кількості входів і виходів, вони можуть керувати кількома зонами поливу одночасно. Це особливо важливо для багатоканальних систем, де різні культури чи ділянки потребують індивідуального підходу.

3. Мікроконтролери збирають дані з сенсорів вологості, температури, датчиків дощу, освітленості та інших. Використовуючи ці дані, система поливу може адаптуватися до змін зовнішніх умов.

4. Багато сучасних мікроконтролерів, такі як ESP32 або NodeMCU, підтримують бездротові з'єднання (Wi-Fi або Bluetooth). Це дозволяє інтегрувати систему поливу з хмарними сервісами для дистанційного моніторингу і управління. Користувачі можуть отримувати дані про стан поливу або налаштовувати його через мобільні додатки чи веб-інтерфейси.

5. Мікроконтролери є відносно дешевими і доступними рішеннями для створення автоматизованих систем поливу.

6. Оскільки мікроконтролери можуть працювати на низькій напрузі і споживати мінімальну кількість енергії, вони можуть живитися від сонячних панелей або акумуляторів. Це робить їх ідеальними для використання в віддалених або автономних умовах, де доступ до електромережі може бути обмеженим.

1.4 Технічне завдання на проектування

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка багатоканальної системи автоматичного поливу на базі мікроконтролера, яка забезпечує автоматизоване керування кількома зонами поливу за допомогою декількох водяних pomp. Система орієнтована на використання в малих і середніх господарствах для автоматичного поливу різних типів культур, що потребують різного підходу до зрошення.

Алгоритм роботи проекрованої системи наступний:

1. Спочатку система перевіряє підключення усіх компонентів.
2. Система очікує встановлення початкових параметрів для кожного каналу поливу.
3. Після задання початкових параметрів система починає накачувати воду за допомогою pomp.
4. Система працює в автоматичному режимі, подаючи воду за встановленими параметрами.
5. У разі виникнення помилок на будь-якому з попередніх етапів, система генерує та виводить на екран спеціальні повідомлення.

Розроблена система забезпечує економію часу та водних ресурсів, підвищуючи ефективність поливу за допомогою автоматизації процесів. Використання мікроконтролера дозволяє створити доступне та надійне рішення, яке можна масштабувати і адаптувати до різних типів сільськогосподарських ділянок. Система проста у налаштуванні та не потребує спеціалізованих знань для експлуатації, що робить її придатною для використання як приватними фермерами, так і в малих комерційних господарствах.

РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ

У першому розділі кваліфікаційної роботи було детально розглянуто предметну область, а саме системи автоматичного поливу, їх складові, переваги та недоліки. Також було розглянуто теоретичні засади багатоканальних систем поливу.

У цьому розділі буде детально описано апаратну складову проектованої системи та вибір необхідних для її реалізації технічних рішень.

2.1 Компоненти системи автоматичного поливу

Структурна схема багатоканальної системи поливу наведена на рисунку 2.1.

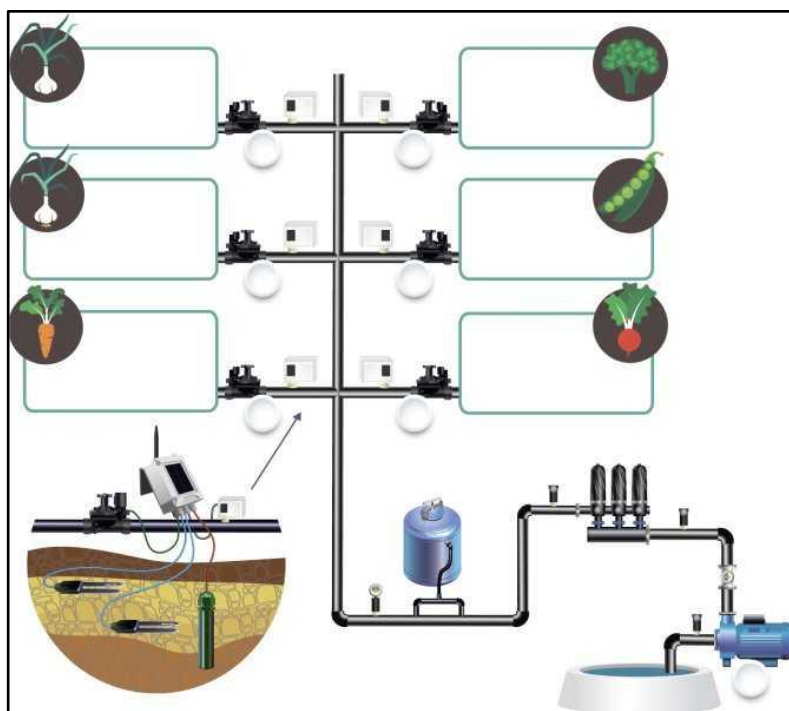


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматичного поливу

Багатоканальна система автоматичного поливу являє собою комплекс, що складається з кількох компонентів, які забезпечують автоматизацію поливного процесу для кількох зон або ділянок одночасно. Така система складається з кількох основних блоків, кожен з яких виконує конкретні функції:

- Контролер. Контролер є центральним компонентом, який відповідає за керування всіма іншими елементами системи. Контролер виконує функцію прийому сигналів від датчиків і приймає рішення щодо увімкнення або вимкнення pomp для поливу. Контролер може працювати з кількома каналами одночасно, що дозволяє поливати кілька зон, кожна з яких може мати свої унікальні налаштування поливу.

- Канали поливу. Кожен канал системи відповідає за окрему зону поливу. Завдяки багатоканальній структурі можна поливати різні ділянки землі або культури незалежно одна від одної. Це дозволяє гнучко налаштовувати режими поливу залежно від вимог конкретної зони: одна зона може потребувати більш частого зрошення, а інша — рідшого або в різні періоди доби.

- Датчики вологості ґрунту та інші сенсори. Ключову роль у системі відіграють датчики вологості, які контролюють рівень зволоженості ґрунту. На основі цих показників система автоматично визначає необхідність включення поливу. Додатково можуть використовуватися датчики температури, освітленості, дощу та атмосферного тиску, які допомагають адаптувати полив відповідно до погодних умов.

- Водяні помпи та клапани. Помпи та електромагнітні клапани керують подачею води в кожну зону поливу. Мікроконтролер подає команду на помпи або клапани відповідно до показників датчиків, відкриваючи або закриваючи водопостачання для конкретної ділянки.

- Резервуари та водопровідні труби. Система поливу зазвичай підключена до центрального водопостачання або резервуара, звідки вода

подається в систему. Резервуари можуть бути оснащені насосами для підвищення тиску води, що дозволяє подавати воду на значні відстані або висоти, залежно від топографії місцевості.

– Живлення. Система живиться від електричної мережі або акумуляторів. Помпи, контролери та інші компоненти можуть працювати від різних джерел живлення, в залежності від умов експлуатації та вимог до системи. Застосування сонячних панелей може забезпечити автономність системи в умовах віддалених сільськогосподарських ділянок.

2.2 Вибір технічних рішень для реалізації апаратної складової

2.2.1 Контролер

Контролер є головним компонентом системи, адже саме він керує усією системою та відповідає за правильний полив. Підходити до питання вибору технічного рішення для контролера треба дуже ретельно, адже від цього буде залежати робота усієї системи.

При виборі контролера для багатоканальної системи автоматичного поливу важливо врахувати наступні критерії:

– Кількість каналів і можливість розширення: Важливо, щоб контролер мав достатню кількість каналів для керування кількома зонами поливу. Якщо є плани на розширення системи, обирайте контролери, які підтримують додаткові модулі чи виходи.

– Сумісність з датчиками: Контролер має підтримувати різні датчики, зокрема вологості ґрунту, температури та дощу. Це допоможе отримувати точні дані. Бажано, щоб контролер мав достатньо аналогових чи цифрових портів для підключення цих сенсорів.

– Потреби в живленні та енергоефективність: Враховуйте споживання енергії контролера та його сумісність з доступними джерелами живлення (сонячна енергія або стандартне електроживлення). Наприклад,

контролери на базі плати Arduino відомі своєю енергоефективністю, що підходить для тривалих автономних робіт.

– Програмованість та гнучкість: Вибирайте контролер, який дозволяє гнучке налаштування, особливо якщо необхідні кастомізовані режими роботи, такі як особливі графіки поливу або автоматизація на основі сенсорів. Arduino, наприклад, є зручним варіантом завдяки відкритим бібліотекам і гнучкості програмування.

– Стійкість до погодних умов та надійність: Оскільки системи поливу працюють на відкритому повітрі, доцільно обирати контролери з захисним, водостійким корпусом для запобігання впливу дощу, пилу чи високих температур.

– Легкість інтеграції з модулями зв'язку: Для віддаленого моніторингу та керування системою важливо, щоб контролер підтримував модулі зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth або GSM. Це корисно для контролю в реальному часі.

– Бюджет і доступність: Контролери відрізняються за ціною залежно від функціоналу і сумісності. Бюджетні варіанти, такі як сімейство плат Arduino, забезпечують базові функції, тоді як моделі з розширеними можливостями зазвичай коштують дорожче.

Відштовхуючись від вище переліченого доцільним у якості контролера багатоканальної системи автоматичного поливу використовувати мікроконтролери через їх переваги, а саме обчислювальні можливості, компактність, енергоефективність, доступність та легкість інтеграції з різними технологіями[5]. Приклад мікроконтролерів наведено на рисунку 2.2.

Але мікроконтролерів у сучасному світі дуже багато, тож необхідно обирати спираючись на технічні характеристики конкретного мікроконтролера. Одними з найпоширеніших мікроконтролерів є лінійка Atmel AVR, ці мікроконтролери мають достатню обчислювальну потужність, значну енергоефективність та відносно помірну вартість. Ще однією

перевагою є інтеграція з платами сімейства Arduino, що дозволяє спростити розробку автоматизованих систем.

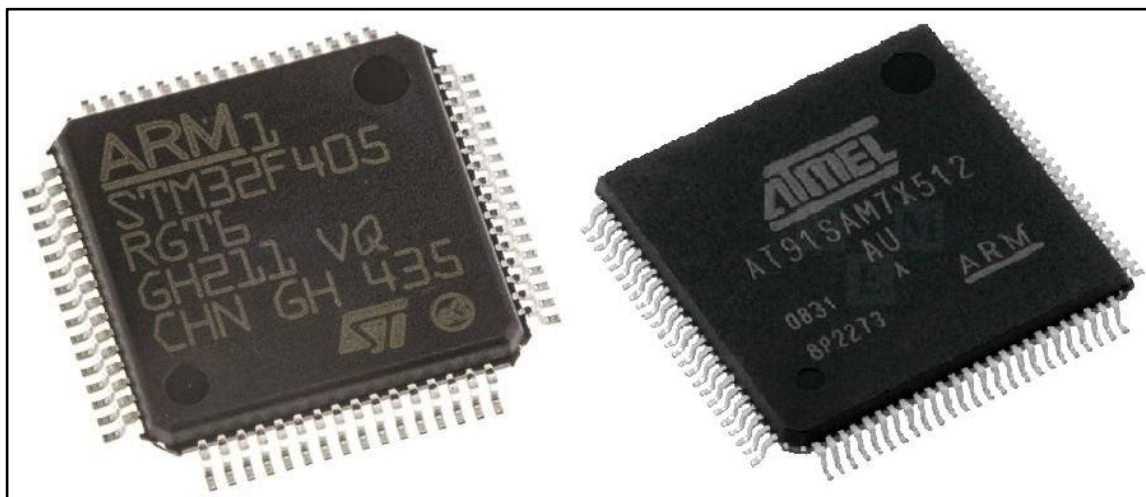


Рисунок 2.2 – Мікроконтролери

У сьогоднішній найрозповсюдженішій технічній сфері автоматизації є плата Arduino та різноманітні периферійні пристрої до неї.

Arduino — це апаратна платформа з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє створювати інтерактивні електронні проекти. Завдяки простим у використанні компонентам і програмному середовищу, плати Arduino здатні приймати різноманітні сигнали — наприклад, рівень освітлення, натискання кнопки або дані з Інтернету — й відповідно реагувати на них, вмикаючи двигун, світлодіоди чи ініціюючи мережеву активність. Плата виконує команди, завантажені в її мікроконтролер, які користувач програмує на спеціальній мові (заснованій на Wiring) у середовищі Arduino IDE (на базі Processing). Arduino може працювати як автономно, так і бути підключеним до іншого програмного забезпечення на комп'ютері через дротові або бездротові з'єднання[6]. Зовнішній вигляд різних версій плат з сімейства Arduino представлено на рисунку 2.3.

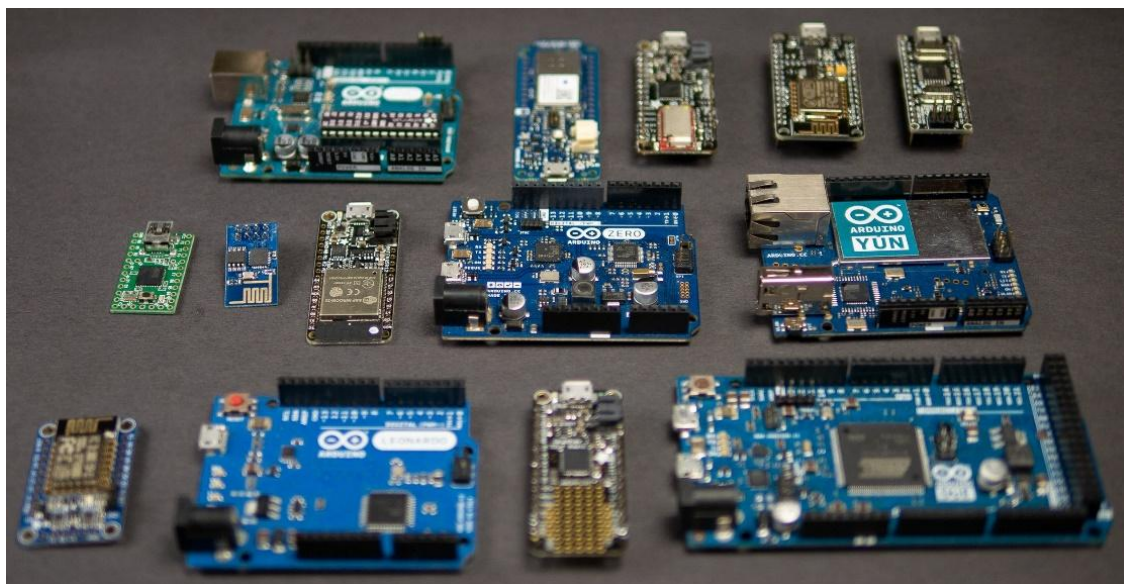


Рисунок 2.3 – Сімейство плат Arduino

Враховуючи критерії компактності та енергоефективності, доцільним буде використання плат з невеликим форм-фактором, наприклад Arduino Nano [6], зовнішній вигляд та технічні характеристики якої наведено на рисунку 2.4 та у таблиці 2.1 відповідно.



Рисунок 2.4 – Arduino Nano

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики ArduinoNano

Характеристика	Значення
Microcontroller	ATmega328 (8-bit AVR)
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (6 of which are PWM outputs)
Analog Input Pins	8
Flash Memory	32 KB (2 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	18 x 45 mm
Communication	UART, SPI, I2C
PWM Channels	6
ADC Channels	8 (10-bit resolution)
USB Interface	Mini-B USB for programming and power

2.2.2 Водяні помпи

Ще одним дуже важливим елементом системи автоматичного поливу є водяні помпи. Водяні помпи — це пристрої для переміщення води шляхом створення перепаду тиску, що забезпечує циркуляцію рідини у системі [7]. Вони широко використовуються у системах поливу, охолодження, водопостачання та відведення води. Приклад водяної помпи наведено на рисунку 2.5.

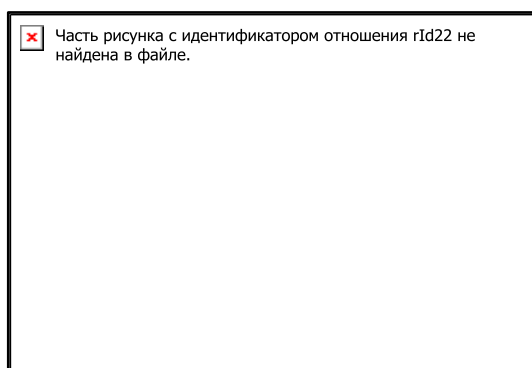


Рисунок 2.5 – Водяна помпа

Для автоматизованих систем поливу, зокрема багатоканальних, помпи грають ключову роль, забезпечуючи надійне і рівномірне подавання води до кожної зони зрошення.

Водяні помпи розрізняють за наступними критеріями[7]:

– Типом живлення: Бувають моделі на електричному, акумуляторному або гідравлічному приводі. Для невеликих автоматизованих систем, як правило, використовують електричні помпи з живленням від контролера.

– Продуктивністю: Вимірюється у літрах за хвилину (л/хв) і визначає об'єм води, яку помпа може подати за певний час. Важливо підбирати продуктивність помпи відповідно до розмірів ділянки, щоб забезпечити оптимальний полив.

– Напором: Це висота, на яку помпа здатна підняти воду. Для горизонтальних ділянок зазвичай підходять помпи з малим напором, але для поливу на схилах або при потребі підйому води на висоту потрібні моделі з більшим напором.

– Режимом роботи: Помпи можуть працювати в безперервному або періодичному режимах. У системах автоматичного поливу часто використовуються помпи з інтервальним запуском, керованим контролером.

Принцип дії водяної помпи полягає у створенні різниці тисків, яка переміщує воду від джерела до потрібної точки. Це досягається за допомогою різних механізмів, таких як обертання лопатей, вібрація або використання мембрани.

Типи водяних pomp за принципом дії [7]:

– Центробіжні помпи: Найпоширеніший тип. У середині помпи обертається крильчатка (ротор), що захоплює воду і завдяки відцентровій силі переміщує її до периферії корпусу помпи. Під дією цієї сили вода виходить під високим тиском через вихідний отвір. Такий принцип дозволяє перекачувати великі об'єми води при низькому енергоспоживанні.

- Мембранні помпи: У цьому типі всередині корпусу помпи розміщується мембрана, яка коливається вгору-вниз під дією мотору. Ці коливання створюють зони низького і високого тиску, що переміщують воду. Мембранні помпи ідеальні для точного дозування, а також застосовуються для поливу малих площ або делікатних рослин.
- Вібраційні помпи: Тут електромагніт створює вібрації, які штовхають поршень або інший робочий елемент. Завдяки коливальним рухам поршня вода переміщується по трубопроводу. Це простий і ефективний метод, який застосовується для невеликих обсягів води.
- Перистальтичні помпи: Використовують еластичну трубку, яка стискається роликami, що переміщуються по ній. Такий метод забезпечує дуже точне дозування і дозволяє перекачувати рідину з домішками. У зрошувальних системах вони рідко застосовуються через низьку продуктивність, але підходять для роботи з поживними розчинами.

У проєктованій системі було прийнято рішення використовувати водяні помпи центробіжного принципу дії через їх відносно помірну вартість. Кількість pomp у системі визначається кількістю каналів, за для повноцінного керування водяним потоком у кожному каналі.

2.2.3 Елементи керування

Для коректної роботи системи, а також можливості взаємодії користувача з системою, необхідно передбачити елементи керування, а саме пристрій виведення для відображення інформації про систему, а також пристрій введення для взаємодії з користувачем.

Пристрій введення — це апаратний елемент, який дозволяє користувачу надсилати інформацію або команди до комп'ютера чи іншої електронної системи. Завдяки таким пристроям система може приймати зовнішні дані, які згодом обробляються для виконання певних операцій [8]. Прикладами

пристроїв введення є клавіатура, миша, сканер, мікрофон, які передають текстову, графічну або звукову інформацію в обчислювальний пристрій.

Пристрій виведення — це апаратний елемент, який дозволяє комп'ютеру або електронній системі передавати оброблену інформацію користувачу або іншим пристроям [8]. Іншими словами, він забезпечує представлення інформації у зрозумілому для людини або іншої системи форматі. Прикладами таких пристроїв є монітор, принтер, динаміки, які перетворюють дані в текстовий, графічний, аудіо- або візуальний формат, доступний користувачу.

В якості пристрою виведення доцільним буде використання дисплею, адже за допомогою нього можна виводити графічну інформацію. Дисплеїв існує багато, тому при виборі треба спиратися на технічні характеристики та інтерфейси підключення до контролера.

В якості пристрою введення доцільним буде використання кнопок або енкодеру.

Враховуючи, що у якості контролера використовується плата Arduino, необхідне використання дисплею і енкодеру, які сумісні з платою Arduino. Приклад таких елементів наведено на рисунках 2.6 і 2.7.

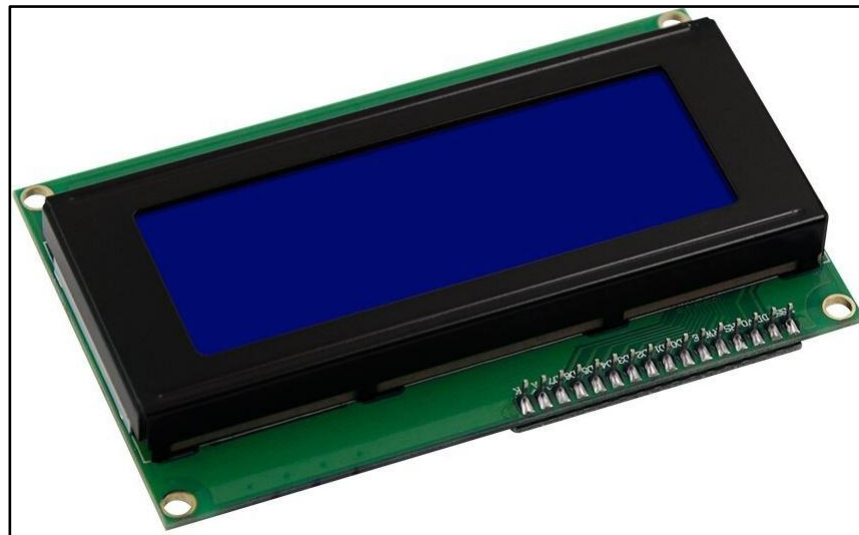


Рисунок 2.6– LCD 2004 I2C Display



Рисунок 2.7 – Енкодер

2.2.4 Живлення

Живлення системи є важливим аспектом у розробці багатоканальної системи автоматичного поливу, оскільки від стабільності та надійності живлення залежить ефективна робота всієї системи, зокрема її сенсорів, контролера та виконавчих пристроїв. Живлення має забезпечувати достатній рівень напруги та струму для всіх компонентів, щоб вони працювали стабільно навіть у разі навантажень.

При проектуванні автоматизованих систем велику увагу приділяють наступним критеріям живлення[9]:

- Джерело живлення. Автоматизовані системи поливу можуть працювати як від постійного (DC), так і змінного (AC) струму. Зазвичай, використовують джерела постійного струму, оскільки більшість компонентів, таких як мікроконтролери і датчики, потребують стабільного напругового живлення. Для мобільних або віддалених систем можливе використання акумуляторів або сонячних панелей. Вони забезпечують автономність і підвищують енергоефективність системи.

- Регулювання та стабілізація напруги. Щоб уникнути пошкодження компонентів через перепади напруги, часто використовуються стабілізатори

напруги або перетворювачі. Наприклад, ArduinoNano, який можна використати у якості контролера системи, потребує стабільної напруги у межах 5 В. Лінійні стабілізатори, такі як LM7805, або імпульсні перетворювачі (DC-DC конвертори) допомагають підтримувати стабільну вихідну напругу навіть при змінному вході.

– Живлення для виконавчих механізмів (водяних pomp). Водяні помпи, які відповідають за перекачування води, потребують значного струму, особливо під час запуску. Тому для живлення pomp використовують окремі джерела з відповідним рівнем струму, щоб уникнути перевантажень контролера. Використання реле або транзисторів як ключових елементів дозволяє контролеру керувати живленням pomp без прямого навантаження на мікроконтролер.

– Системи захисту. Захисні механізми, такі як запобіжники або діоди, можуть бути додані для запобігання зворотній напрузі та перевантаженням, що захищає контролер і периферійні пристрої від пошкодження. При використанні сонячних панелей доцільним є додавання захисту від перезаряду та розряду акумуляторів.

– Моніторинг стану живлення. Деякі системи потребують датчиків напруги або струму для моніторингу стану живлення, особливо якщо вони працюють автономно. Це дозволяє своєчасно виявити зниження рівня заряду і запобігти некоректній роботі системи.

Таким чином, для підвищення автономності системи доцільно реалізовувати живлення через акумулятори чи сонячні панелі, але в цьому випадку необхідно реалізовувати стабілізацію живлення та запасне живлення. Тож при проектуванні системи було прийнято рішення реалізації стаціонарного живлення від мережі.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ

У попередньому розділі було детально розглянуто апаратну частину проєктованої системи, а також наведено рекомендації щодо технічних рішень для реалізації кожного компонента системи. Проте саме по собі «залізо» працювати не буде, тож необхідно розробити програмне забезпечення, яке буде описувати повний функціонал системи. У цьому розділі представлено розробку такого програмного забезпечення.

Програмне забезпечення (ПЗ) – сукупність програм системи обробки інформації і програмних документів, необхідних для експлуатації цих програм [3].

3.1 Структура програмного забезпечення та вибір технології

Структуру програмного забезпечення представлено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Структура ПЗ проєктованої системи

Як показано на рисунку 3.1 програмне забезпечення проектованої системи складається з декількох частин – підсистеми управління водяними помпами, підсистеми взаємодії з користувачем, а також додаткових модулів та бібліотек. Підсистема управління водяними помпами генерує та передає керуючі сигнали на водяні помпи, тим самим забезпечуючи управління різними каналами системи автоматичного поливу. Керуючі сигнали формуються на основі заданих параметрів поливу, які користувачеві необхідно ввести в систему на самому початку роботи. За для полегшення процесу взаємодії користувача з системою, у ПЗ передбачено підсистему взаємодії з користувачем, яка реалізує функціонал опитування станів енкодера і виведення на рідкокристалічний дисплей інформації про поточний стан системи.

Оскільки у другому розділі прикладом технічної реалізації контролера системи було наведено плату Arduino, частина програмного забезпечення, що завантажуватиметься в контролер, має бути створена спеціально для цієї плати. Отже, для цього буде застосовано мову програмування C++ та середовище розробки Arduino IDE.

C++ — це компільована, статично типізована мова загального призначення, яка підтримує різні підходи до програмування: процедурне, об'єктно-орієнтоване та узагальнене. Мова C++ забезпечена багатим набором стандартних бібліотек, включно з контейнерами, алгоритмами, функціями для введення-виведення, роботи з регулярними виразами, підтримкою багатопоточності тощо. Вона поєднує як високорівневі, так і низькорівневі можливості програмування [10].

Інтегроване середовище розробки (IDE) є набором програмних інструментів, які розробники використовують для створення програмного забезпечення. Для програмування мікроконтролерів на платі Arduino зазвичай застосовують офіційне середовище — Arduino IDE, яке забезпечує простий доступ до всіх необхідних функцій для роботи з мікроконтролером на базі

мови програмування C++ [11, 12]. Зовнішній вигляд Arduino IDE представлено на рисунку 3.2.

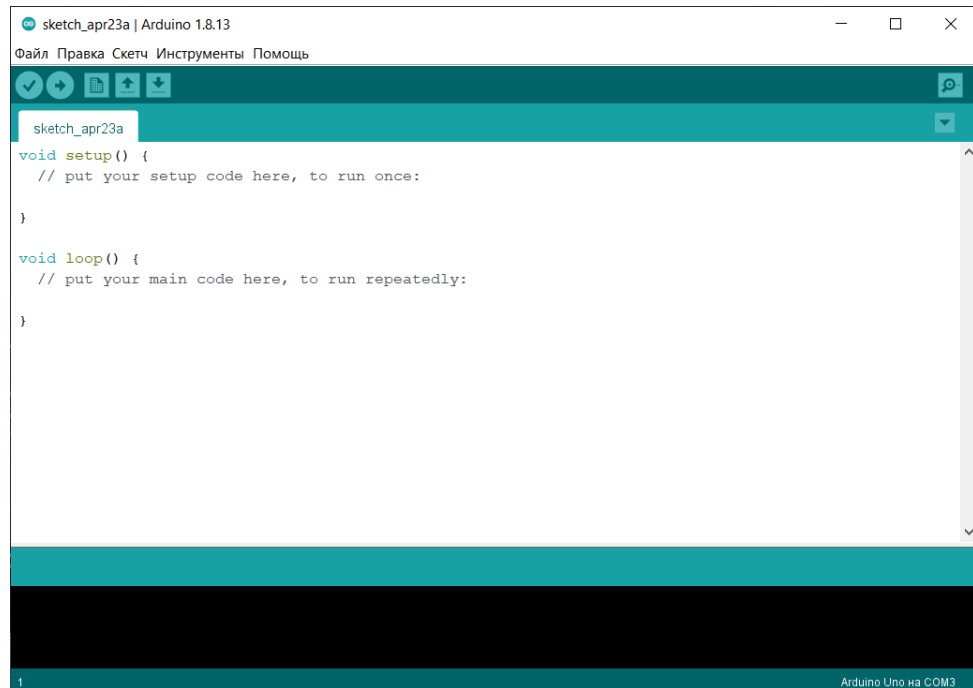


Рисунок 3.2 –Інтерфейс ArduinoIDE

3.2Реалізація програмного забезпечення для контролера системи

Апаратно водяні помпи у проєктованій системі автоматичного поливу керуються через реле, адже кожна помпа має окреме живлення. Таким чином, для реалізації підсистеми управління водяними помпами необхідно реалізувати функціонал керування реле на основі заданих користувачем параметрів.

Параметри поливу задаються користувачем за допомогою підсистеми взаємодії з користувачем, функціонал якої включає в себе обробку стану енкодеру і відображення інформації на дисплеї.

Нижче наведено декілька лістингів коду програмного забезпечення для контролеру плати Arduino. Повний код цієї частини ПЗ наведено у додатку Г.

Лістинг 3.1 – Код для ініціалізації каналів поливу

```
static const wchar_t *relayNames[] = {
    L"Pump 1",
    L"Pump 2",
    L"Pump 3",
    L"Pump 4",
    L"Pump 5",
    L"Pump 6",
    L"Pump 7",
    L"Pump 8",
};
```

У лістингу 3.1 представлено код, за допомогою якого ініціалізуються канали поливу. Кожен канал має свою назву, що було простіше їх розрізняти. Назва може бути написана як латинськими літерами, так і кирилицею.

Лістинг 3.2 – Код для встановлення значень початкових налаштувань

```
uint32_t pump_timers[PUPM_AMOUNT];
uint32_t pumping_time[PUPM_AMOUNT];
uint32_t period_time[PUPM_AMOUNT];
boolean pump_state[PUPM_AMOUNT];
byte pump_pins[PUPM_AMOUNT];
int8_t current_set;
int8_t current_pump;
boolean now_pumping;
int8_t thisH, thisM, thisS;
long thisPeriod;
boolean startFlag = true;
boolean backlState = true;
uint32_t backlTimer;
```

У лістингу 3.2 представлено код, який створює необхідні змінні та встановлює початкові значення налаштувань системи, такі як таймери для водяних pomp, змінні стану для кожної помпи тощо.

Лістинг 3.3 – Код для ініціалізації пінів плати Arduino

```
for (byte i = 0; i < PUPM_AMOUNT; i++) {
  pump_pins[i] = START_PIN + i;
  pinMode(START_PIN + i, OUTPUT);
  digitalWrite(START_PIN + i, !SWITCH_LEVEL);
}
Serial.begin(9600);
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
encl.setType(ENCODER_TYPE);
if (ENC_REVERSE) encl.setDirection(REVERSE);
```

У лістингу 3.3 представлено код, що ініціалізує піни плати Arduino, до яких підключено водяні помпи, енкодер та дисплей. Окрім цього іде початкове налаштування енкодера за його типом, а також перевірка роботи дисплею.

Лістинг 3.4 – Код для скидання та запису налаштувань у енергонезалежну пам'ять на контролері

```
if (!digitalRead(SW)) {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Resetsettings");
  for (byte i = 0; i < 500; i++) {
    EEPROM.writeLong(i, 0);
  }
}
```

```

    }
while (!digitalRead(SW));
lcd.clear();
if (EEPROM.read(1023) != 5) {
EEPROM.writeByte(1023, 5);
for (byte i = 0; i < 500; i += 4) {
EEPROM.writeLong(i, 0);
    }
}
}

```

У лістингу 3.4 представлено код, що дозволяє, або записати налаштування системи в енергонезалежну пам'ять, або скинути налаштування системи з енергонезалежної пам'яті, використовуючи модуль для роботи з енергонезалежною пам'яттю EEPROM.

Код представлений у лістингах 3.5 – 3.8 реалізує функціонал відображення інформації на дисплеї, а саме відображення основного меню системи; курсору для зручності взаємодії між користувачем і системою; назви кожного каналу поливу і його налаштувань; встановлення нових значень параметрів системи тощо.

Лістинг 3.5 – Код функцій для коректної роботи підсвічування дисплею

```

void backlTick() {
if (LCD_BACKL &&backlState&&millis() - backlTimer >=
BACKL_TOUT * 1000) {
backlState = false;
lcd.noBacklight();
}
}
void backlOn() {
backlState = true;
backlTimer = millis();
lcd.backlight();
}

```

```
}

```

У лістингу 3.5 представлено код функцій, які відповідають за коректну роботу підсвічування дисплею, адже інформація на дисплеї оновлюється дуже часто, тож для плавності роботи необхідно передбачити коректні часові затримки при відображенні на дисплеї.

Лістинг 3.6 – Код функції для відображення курсора

```
voiddrawArrow(bytecol, byterow) {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(13, 1);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(col, row);
  lcd.write(126);
}
```

У лістингу 3.6 наведено код функції, яка виводить курсор («стрілку») на дисплей, в залежності від позиції енкодеру.

Лістинг 3.7 – Код функції для виведення назви каналу на дисплей

```
voiddrawLabels() {
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("                ");
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print(relayNames[current_pump]);
}
```

```
}

```

У лістингу 3.7 представлено код функції, яка з пам'яті бере назви усіх встановлених каналів і виводить їх по одному на дисплей.

Лістинг 3.8 – Код функції, яка виводить на дисплей меню зміни налаштувань для водяної помпи

```
voidchangeSet() {
  switch (current_set) {
    case 0: drawArrow(0, 0); update_EEPROM();
    break;
    case 1: drawArrow(7, 1);
    break;
    case 2: drawArrow(10, 1);
    break;
    case 3: drawArrow(13, 1);
    break;
    case 4: drawArrow(7, 1);
    break;
    case 5: drawArrow(10, 1);
    break;
    case 6: drawArrow(13, 1);
    break;
  }
  lcd.setCursor(0, 1);
  if (current_set < 4) {
    lcd.print(L"PAUSE ");
    s_to_hms(period_time[current_pump]);
  }
  else {
    lcd.print(L"WORK ");
    s_to_hms(pumping_time[current_pump]);
  }
}
```

```

lcd.setCursor(8, 1);
if (thisH< 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisH);
lcd.setCursor(11, 1);
if (thisM< 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisM);
lcd.setCursor(14, 1);
if (thisS< 10) lcd.print(0);
lcd.print(thisS);
}

```

У лістингу 3.8 представлено код функції, яка виводить на дисплей меню зміни налаштувань водяної помпи. Ця функція в свою чергу викликає функції для відображення курсора та назви каналу поливу, код яких було наведено вище. Для кожного каналу поливу відображається його назва та інформація щодо його стану, або він працює («WORK»), або стоїть на паузі («PAUSE»), при зміні налаштувань відкривається нове меню, в якому можна задати нові параметри налаштувань для кожного каналу поливу окремо.

Лістинг 3.9 – Код функції для опрацювання стану енкодера

```

voidencoderTick() {
  encl.tick();
  if (encl.isTurn()) {
    if (backlState) {
      backlTimer = millis();
      if (encl.isRight()) {
        if (++current_set>= 7) current_set = 6;
      } else if (encl.isLeft()) {
        if (--current_set< 0) current_set = 0;
      }
    }
    if (encl.isRightH())
      changeSettings(1);
  }
}

```

```

else if (encl.isLeftH())
changeSettings(-1);

changeSet();
    } else {
backlOn();
    }
}
}

```

У лістингу 3.9 представлено код функції для опрацювання сигналу з енкодеру. Функція зчитує поточний стан енкодеру та відповідно до нього оновлює інформацію на дисплеї. За допомогою енкодеру іде управління курсором (поворот енкодеру за годинниковою стрілкою опускає курсор вниз, а проти годинникової стрілки – підіймає вгору) та вибір пунктів меню (натискання кнопки енкодеру). Після зміни стану енкодеру функція викликає функції, описані вище, для оновлення інформації на дисплеї.

Лістинг 3.10 – Код функції для запуску водяної помпи

```

voidperiodTick() {
for (byte i = 0; i < PUPM_AMOUNT; i++) {
if (startFlag ||
    (period_time[i] > 0
    &&millis() - pump_timers[i] >= period_time[i] * 1000
    && (pump_state[i] != SWITCH_LEVEL)
    && !(now_pumping * !PARALLEL))) {
pump_state[i] = SWITCH_LEVEL;
digitalWrite(pump_pins[i], SWITCH_LEVEL);
pump_timers[i] = millis();
now_pumping = true;
Serial.println("Pump #" + String(i) + " ON");
}
}
}

```

```

    }
}
startFlag = false;
}

```

У лістингу 3.10 наведено код функції, яка запускає водяну помпу за вказаними параметрами та відстежує часовий період, в якому помпа буде працювати за встановленим заздалегідь значенням.

Лістинг 3.11 – Код функції для відключення водяної помпи

```

voidflowTick() {
for (byte i = 0; i < PUPM_AMOUNT; i++) {
if (pumping_time[i] > 0
&&millis() - pump_timers[i] >= pumping_time[i] * 1000
&& (pump_state[i] == SWITCH_LEVEL) ) {
pump_state[i] = !SWITCH_LEVEL;
digitalWrite(pump_pins[i], !SWITCH_LEVEL);
if (TIMER_START) pump_timers[i] = millis();
now_pumping = false;
Serial.println("Pump #" + String(i) + " OFF");
}
}
}

```

У лістингу 3.11 наведено код функції, яка перевіряє час роботи кожної помпи за встановленими параметрами і у разі, якщо час сплинув, система автоматично відключає помпу і вода на канал поливу не подається.

Лістинг 3.12 – Код функції для зміни параметрів налаштувань каналу поливу

```

voidchangeSettings(int increment) {
  if (current_set == 0) {
    current_pump += increment;
    if (current_pump> PUPM_AMOUNT - 1) current_pump = PUPM_AMOUNT
- 1;
    if (current_pump< 0) current_pump = 0;
    s_to_hms(period_time[current_pump]);
    drawLabels();
  } else {
    if (current_set == 1 || current_set == 4) {
      thisH += increment;
    } else if (current_set == 2 || current_set == 5) {
      thisM += increment;
    } else if (current_set == 3 || current_set == 6) {
      thisS += increment;
    }
    if (thisS> 59) {
      thisS = 0;
      thisM++;
    }
    if (thisM> 59) {
      thisM = 0;
      thisH++;
    }
    if (thisS< 0) {
      if (thisM> 0) {
        thisS = 59;
        thisM--;
      } else thisS = 0;
    }
    if (thisM< 0) {
      if (thisH> 0) {
        thisM = 59;
        thisH--;
      }
    }
  }
}

```

```

        } else thisM = 0;
    }
    if (thisH < 0) thisH = 0;
    if (current_set < 4) period_time[current_pump] = hms_to_s();
    else pumping_time[current_pump] = hms_to_s();
    }
}

```

У лістингу 3.12 представлено код функції, яка змінює параметри налаштувань для конкретного каналу поливу, який обрав користувач через меню. Користувачу необхідно задати нові значення параметрів (період поливу у годинах, хвиликах чи секундах) використовуючи енкодер і потім зберегти їх. Нові значення параметрів одразу запишуться у енергонезалежну пам'ять контролера і будуть застосовані у системі.

Лістинг 3.13 – Запис нових значень параметрів у енергонезалежну пам'ять

```

void update_EEPROM() {
    EEPROM.updateLong(8 * current_pump,
period_time[current_pump]);
    EEPROM.updateLong(8 * current_pump + 4,
pumping_time[current_pump]);
}

```

У лістингу 3.13 наведено код функції для зберігання нових значень параметрів системи у енергонезалежну пам'ять через модуль EEPROM.

Загальний принцип функціонування програмного забезпечення наступний: програма зчитує інтервали роботи кожної з восьми pomp, збережені в пам'яті EEPROM, яка також запам'ятовує дані навіть після \

вимкнення живлення. Завдяки цьому система може зберігати налаштування і не вимагає їх повторного введення після перезавантаження. Інтерфейсом для користувача є LCD-дисплей і енкодер. Взаємодія з енкодером дозволяє налаштовувати параметри системи, як-от інтервал роботи та час ввімкнення для кожної помпи. Наприклад, користувач може задати час роботи, паузи між циклами та вибрати, яку саме помпу контролювати. Програма має нескінченний цикл (`loop()`), де кожен елемент постійно перевіряється: налаштування енкодера, підсвічування дисплея, таймер для кожної помпи та перевірка поточного стану ввімкнення. Після запуску система починає відлік часу для кожної помпи та за досягнення встановленого інтервалу вмикає її, запускаючи воду для поливу. Після завершення заданого часу роботи, що також визначається користувачем, помпа вимикається. Таймери відслідковуються в реальному часі за допомогою функцій `periodTick()` та `flowTick()`, які перевіряють умови на включення і вимкнення відповідних pomp. Це дає можливість створити послідовність поливу для різних ділянок із чітко контрольованими інтервалами та часом.

Програма також має обробку помилок: якщо до контролера підключено некоректний компонент, або отримані неочікувані дані, вона відображає відповідні повідомлення на дисплеї. Уся робота програми завершується лише при вимкненні живлення, що робить її придатною для автономного, довготривалого використання.

4 ДОСЛІДНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА

У попередніх розділах було детально розглянуто предметну область та теоретичні засади для розробки; вивчено існуючі технології для створення систем автоматичного поливу; проаналізовано та наведено поради, щодо технічної реалізації апаратної складової системи, а також розроблено програмне забезпечення на основі спроектованого алгоритму. Щоб підтвердити функціональність та ефективність розробленої системи, слід провести експериментальну експлуатацію прототипу. Це передбачає реалізацію всіх апаратних компонентів системи та запуск розробленого програмного забезпечення в умовах, максимально наближених до тих, у яких система буде використовуватись користувачем.

4.1 Опис макетного зразка та методики випробувань

Моделювання роботи макетного зразка проектованої системи необхідно проводити в умовах, наближених до умов експлуатації кінцевим користувачем, отже спочатку необхідно реалізувати апаратну складову, а далі запускати програмне забезпечення та проводити тестування.

Щоб спростити створення апаратної частини системи, доцільно використовувати готові технічні модулі, які сумісні з платою Arduino. Усі електронні компоненти приєднуються до плати за допомогою спеціальних проводів, а сама плата підключається до комп'ютера через USB-кабель, використовуючи СОМ-порт. Для полегшення процесу складання та уникнення плутанини з проводами варто скористатися макетною платою (breadboard). Максимальна кількість одночасно підключених компонентів обмежується можливостями вибраної моделі плати Arduino.

Повну збірку апаратної складової системи представлено на рисунку 4.1.

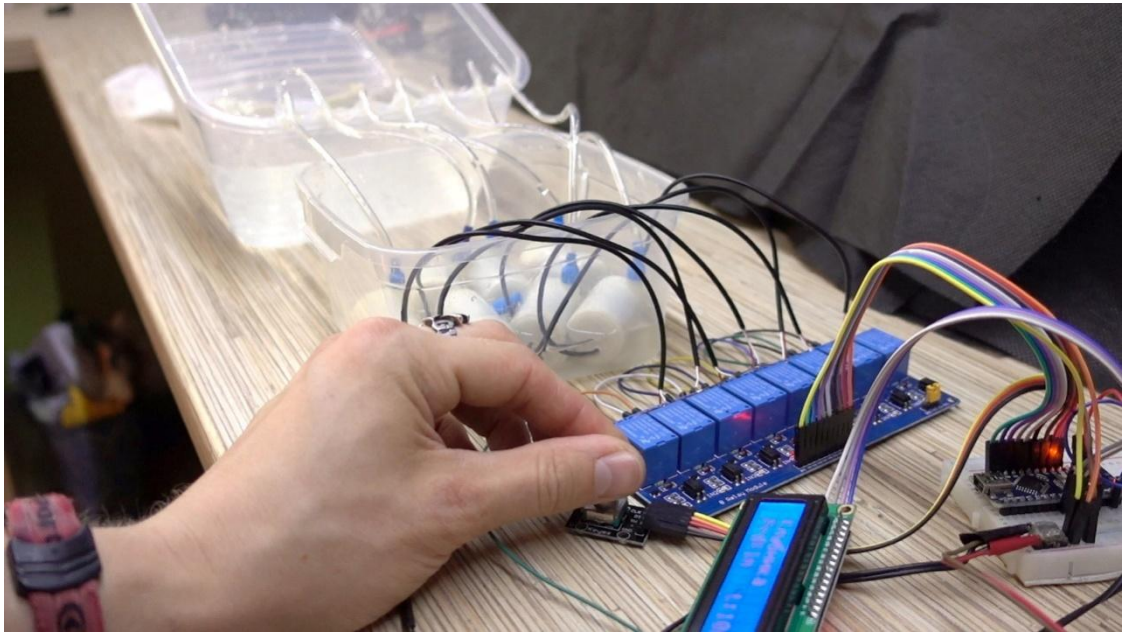


Рисунок 4.1 – Збірка проекрованої системи

Після того, як апаратна складова системи реалізована, необхідно до мікроконтролеру плати Arduino «защити» програмного забезпечення системи. Далі необхідно провести тестування розробленої системи, яке складається з наступних етапів:

1. Запуск системи;
2. Перевірка відображення інформації на дисплеї;
3. Перевірка роботи енкодера;
4. Перевірка роботи реле, до якого підключено помпи;
5. Перевірка роботи кожної помпи і відображення параметрів налаштувань для кожної помпи;
6. Перевірка зміни налаштувань;
7. Перевірка запису даних у енергонезалежну пам'ять;
8. Перевірка скидання параметрів до базових;
9. Перевірка часу відгуку системи та таймаутів;

10. Перевірка відпрацювання нестандартних ситуацій, за яких виникають помилки у системі.

Результати тестування макетного зразка проекрованої системи представлені у наступному підрозділі.

4.2 Результати моделювання роботи тестового зразка

Спочатку слід упевнитися, що система запускається коректно: перевірити роботу програмного забезпечення, враховуючи як стандартний сценарій, передбачений у коді, так і ситуації, коли виникають помилки. Потім слід протестувати відображення даних на дисплеї та функціонування енкодера відповідно до закладеної логіки роботи. Далі перевіряється працездатність реле, до яких підключені помпи, а також коректність змін параметрів налаштувань згідно з програмним забезпеченням.

Результати запуску системи та перевірки відображення інформації про стан помпи на дисплеї, за умови підключення плати до комп'ютера, представлено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Перевірка відображення інформації на дисплеї

Для перевірки роботи енкодера необхідно покрутити руків'я і тоді на дисплеї буде відображатися зміна помпи та налаштувань. Якщо затиснути кнопку енкодера відбудеться скидання налаштувань. Результат роботи енкодера наведено на рисунках 4.3 - 4.5.

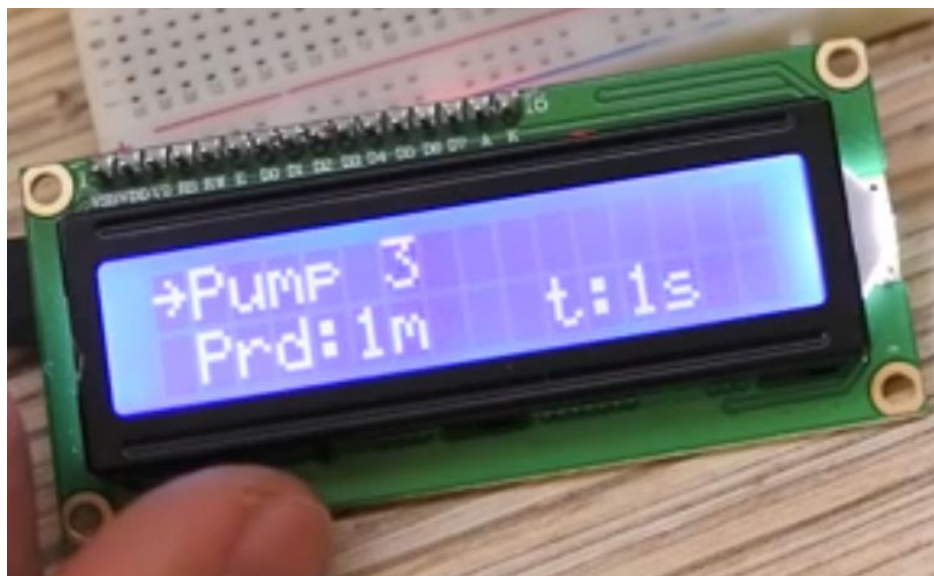


Рисунок 4.3 – Зміна помпи за допомогою енкодера

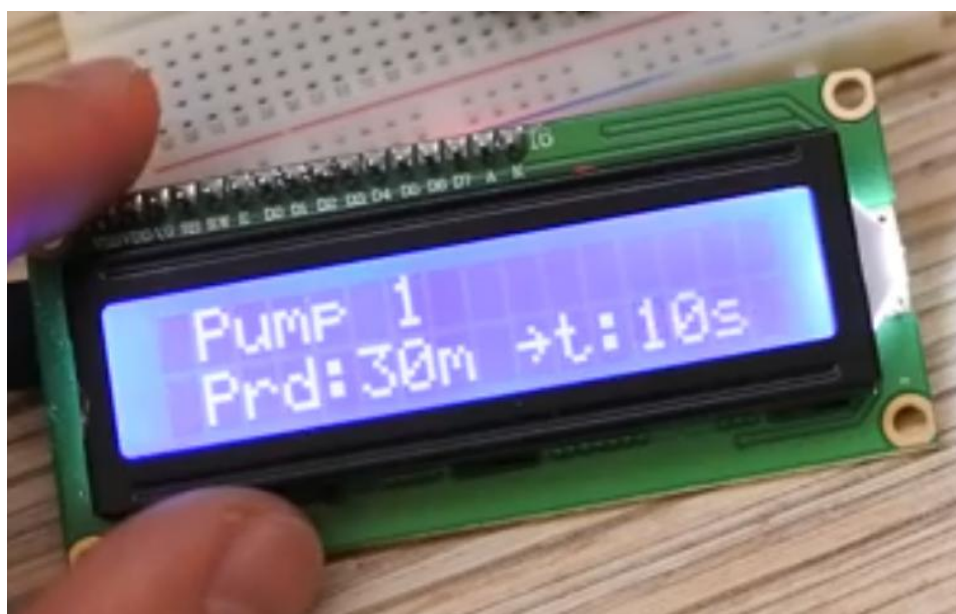


Рисунок 4.4 – Зміна параметрів налаштувань за допомогою енкодера



Рисунок 4.5 – Скидання налаштувань за допомогою енкодера

Для перевірки роботи реле та самих водяних pomp необхідно задати початкові налаштування для кожної помпи, а потім почекати декілька секунд доки система збереже налаштування та почне працювати. Результати цього етапу тестування системи представлено на рисунках 4.6 та 4.7.

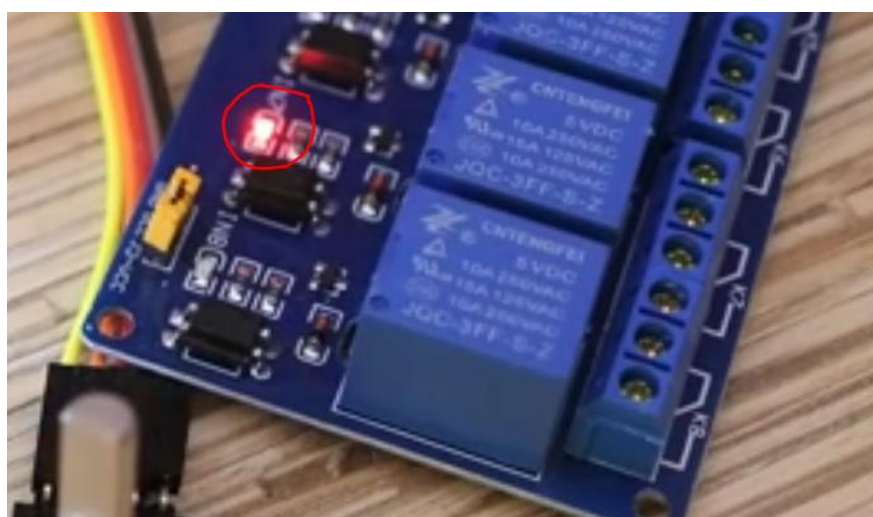


Рисунок 4.6 – Перевірка роботи реле

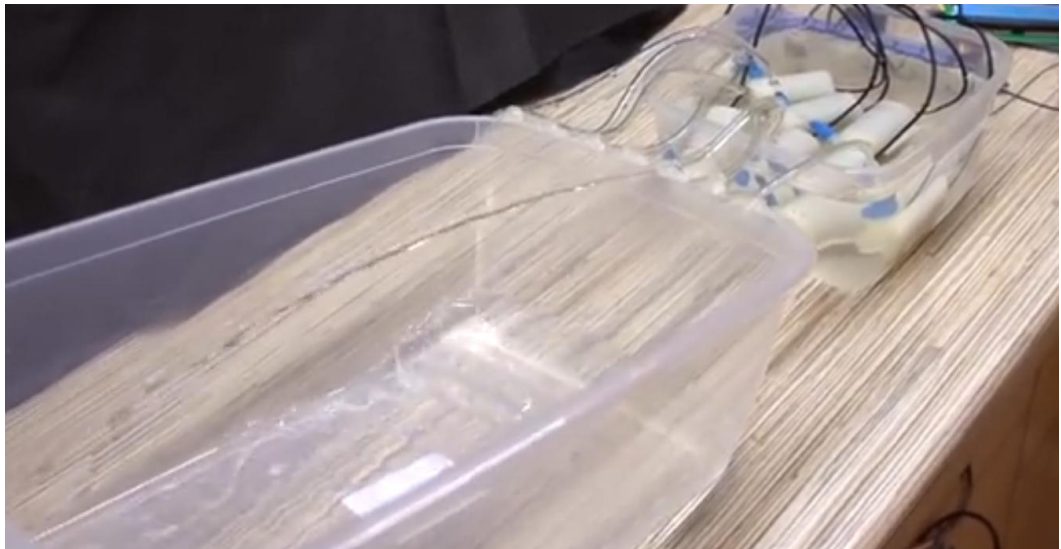


Рисунок 4.7 – Перевірка роботи водяних pomp

Як показують результати тестування, спроектована система функціонує згідно з програмним забезпеченням. Вона пройшла всі етапи тестування, продемонструвавши стабільність і ефективність. Інформація про стан кожної помпи відображається правильно, а зміни налаштувань надійно зберігаються у енергонезалежній пам'яті й можуть бути відтворені з неї. Функціональні можливості системи працюють без збоїв, а час реакції на команди користувача відповідає визначеним у програмі таймерам. Система адекватно реагує на непередбачені ситуації, що спричиняють помилки, як і було передбачено. Зважаючи на технічні характеристики тестового стенду, можна припустити, що продуктивність системи в реальних умовах може трохи відрізнятись. За весь час тестування збоїв у роботі не було виявлено.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було створено багатоканальну систему автоматичного поливу на базі мікроконтролера ArduinoNano. Проект розроблений для автоматизації та спрощення управління водяними помпами, що забезпечують полив рослин, та дозволяє реалізувати ефективне використання води завдяки налаштуванню режимів поливу для кожного каналу окремо. Взаємодія з користувачем здійснюється за допомогою LCD-дисплея та енкодера, що забезпечують простоту налаштування параметрів поливу.

Система складається з програмно-апаратного комплексу, що поєднує мікроконтролер Arduino, водяні помпи, дисплей і керуючий елемент (енкодер), який полегшує взаємодію користувача з системою. Було розроблено програмне забезпечення, що дозволяє задавати періоди та тривалість поливу для кожної помпи. Для збереження налаштувань у пам'яті контролера використовується енергонезалежна пам'ять, що зберігає дані навіть при вимкненні живлення.

Під час тестування були перевірені всі функції системи, зокрема робота кожного з каналів, коректність збереження та відтворення налаштувань, а також час реакції на команди користувача. Результати тестування показали, що система працює стабільно та ефективно, відповідаючи всім заявленим вимогам.

Таким чином, розроблена система автоматичного поливу є придатною для використання в умовах, що наближені до реальних, і демонструє високу надійність і зручність експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Системи поливу [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D1%83
2. Багатоканальний полив [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Багатоканальний_полив
3. Півняк Г. Г., Бусигін Б. С., Дівізінюк М. М. Тлумачний словник з інформатики. — Д.: Національний гірничий університет, 2010. — 392 с. — ISBN 978-966-350-306-0.
4. Метеостанція [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F
5. Мікроконтролер [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>
6. Arduino [Електронний ресурс] // Arduino: офіційний сайт. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
7. Водяна помпа [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Водяна_помпа

8. Пристрій введення-виведення [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу:https://uk.wikipedia.org/wiki/Пристрій_введення_виведення
9. Електроживлення [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу:<https://uk.wikipedia.org/wiki/Електроживлення>
10. C++ Programming: Principles and Practice Using C++ Bjarne Stroustrup. — Addison-Wesley Professional, 2014. — 1312 p. — ISBN 978-0321992789.
11. Elliot Williams. Make: AVR Programming: Learning to Write Software for Hardware. — Maker Media, Inc., 2014. — 472 p. — ISBN 978-1449355784.
12. Julien Bayle. C Programming for Arduino. — Packt Publishing, 2013. — 512 p. — ISBN 978-1849517584.
13. Hassan, A., Shah, W. M., Harum, N., Bahaman, N., & Mansourkiaie, F. (2019). *The Development of an Automated Irrigation System Using an Open Source Microcontroller*. International Journal of Engineering & Technology, 3(1), 101-106.
14. Casado C. G., Cisquella, M. L., & López, S. A. (2018). *Intelligent Irrigation System Based on Arduino*. arXivpreprintarXiv:1803.00097.
15. Karar, M. E., Al-Rasheed, M. F., Al-Rasheed, A. F., & Reyad, O. (2020). *Io Tand Neural Network-Based Water Pumping Control System For Smart Irrigation*. ar XivpreprintarXiv:2005.04158.