

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 другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Мікроконтролерна система управління екологічним станом у
водному середовищі
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-21-1

Михайлов І.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)


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

Освітня програма Спеціалізовані
комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф., д.т.н., Чумаченко С.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри


(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки


Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)

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

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 
(підпис)

« 17 » грудня 20 22 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Михайлову Іллі Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мікроконтролерна система управління екологічним станом у водному середовищі

затверджена наказом по університету від 14 листопада 2022 р. № 1478

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

Мікроконтролер ESP8266

Датчик рН

Датчик TDS

Електромагнітні реле

Інтегровані середовища розробки Arduino IDE, MSVC2017

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Аналіз предметної області та постановка задачі

Аналіз літератури

Розробка та програмування апаратної частини

Розробка алгоритмів

Тестування розробленої системи

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


6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)


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

7. Дата видачі завдання _____ 01.09.2022 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача теми роботи, узгодження і затвердження	01.09.2022 – 02.09.2022	
2	Аналіз літератури	10.10.2022 – 20.10.2022	
3	Розробка алгоритмів	21.10.2022 – 30.10.2022	
4	Програмування апаратної частини	01.11.2022 – 18.11.2022	
5	Розробка застосунку для користувача	19.11.2022 – 30.10.2022	
6	Проведення тестування отриманої моделі	03.12.2022 – 09.12.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки	10.12.2022 – 17.12.2022	
8	Перевірка виконаного проекту керівником	18.12.2022	
9	Захист проекту	22.12.2022	

Студент _____ 
(підпис)

Керівник роботи _____  _____ проф., д.т.н., Чумаченко С.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 64 с., 22 рис., 2 дод., 10 джерел посилання.

МІКРОКОНТРОЛЕР, ARDUINO IDE, ESP8266, ІОТ, QT, АКВАКУЛЬТУРА, рН, РРМ

Метою роботи є підвищення якості моніторингу та адаптивного контролю екологічної рівноваги в закритому водному середовищі шляхом розробки мікроконтролерної системи на основі апаратної моделі з використанням Arduino IDE та програмного застосунку, що спрямовані на більшу гнучкість конфігурації.

Задачі: аналіз характеристик водного середовища, їх вплив один на одного та на водні організми, аналіз та порівняння аналогічних дослідницьких робіт і подальше створення програмної та апаратної моделі пристрою, призначеного для моніторингу та адаптивного контролю екологічної рівноваги в закритому водному середовищі.

Мікроконтролерна система управління екологічним станом у водному середовищі дозволить надати користувачеві більшу гнучкість у конфігурації, створить підґрунтя для майбутнього розвитку даної технології.

ABSTRACT

Master's thesis contains: 64 pages, 22 figures, 3 appendices, 10 sources of reference.

MICROCONTROLLER, ARDUINO IDE, ESP8266, IOT, QT, AQUACULTURE, pH, PPM

The purpose of the work is to improve the monitoring and adaptive control of ecological balance in a closed aquatic environment by developing a microcontroller system based on a hardware model using the Arduino IDE and applications aimed at more configuration flexibility.

Objects: to analyze the characteristics of the aquatic environment, how they impact on each other and on aquatic organisms, the analysis and comparison of similar research works, and the subsequent creation of a software and hardware model of a device designed for monitoring and adaptive control of ecological balance in a closed aquatic environment.

A microcontroller system for managing the environmental condition in the aquatic environment will allow the user to get greater flexibility in configuration processes, will create the basis for the future development of this technology.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Сфера застосування	11
1.2 Аналіз літератури та аналогів.....	11
1.3 Постановка задачі	16
2 ОПИС ОБРАНОЇ СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	18
2.1 Опис обраної системи.....	18
2.1.1 NodeMCU ESP8266	8
2.1.2 HC-SR04	19
2.1.3 DS18B20	21
2.1.4 Реле	22
2.1.5 Датчик рН.....	23
2.1.6 Датчик TDS	25
2.2 Теоретичні відомості. Параметри водного середовища.....	27
2.2.1 Температура	27
2.2.2 Рівень рН	28
2.2.3 Жорсткість води GH та KH	30
2.2.4 Рівень вмісту аміаку NH ₃ і NH ₄ ⁺	34
2.2.5 Рівень вмісту нітриту NO ₂	34
2.2.6 TDS	35
2.2.7 Електропровідність	36
2.2.8 Концентрація кисню.....	37
2.2.9 Концентрація вуглекислого газу.....	39
2.3 Теоретичні відомості. Використовувані технології	41
2.3.1 Qt.....	41

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ	43
3.1 Програма для плати NodeMCU	43
3.1.1 Налаштування Arduino IDE	43
3.1.2 Використані бібліотеки.....	44
3.1.2 Розробка програми	44
3.2 Розробка програмного застосунку для налаштування системи	52
4 ТЕСТУВАННЯ.....	55
4.1 Постановка задач на тестування.....	55
4.2 Тестування	56
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	65
Додаток Б Код програми.....	72
Б.1 Файл arduino_code.cpp.....	72
Б.2 Файл main.cpp	80
Б.3 Файл mainwindow.cpp.....	80
Б.4 Файл mainwindow.h	82
Б.5 Файл networkmanager.cpp.....	83
Б.6 Файл networkmanager.h	86
Б.7 Файл water_station_settings.h	86
Б.8 Файл watersystem.pro	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT – Інтернет речей (англ. Internet of Things)

ESP8266 – мікроконтролер з інтерфейсом Wi-Fi та 80 МГц 32-бітним процесором

Qt – крос-платформова бібліотека для розробки прикладного програмного забезпечення

Аквакультура – вирощування водних організмів, переважно їстівних

pH – показник кількості розчинених кислот у воді

ppm (parts per million) – кількість «частинок на мільйон», проміле

ВСТУП

Сьогодні використання Internet of things рішень може значно спростити велику кількість рутинних задач. IoT являє собою мережу фізичних об'єктів, в які з метою з'єднання та обміну даними з іншими пристроями та системами можуть бути вбудовані датчики, програмне забезпечення та інші технології.

Водне середовище – акваріум чи басейн – це сукупність багатьох взаємопов'язаних компонентів, які важливо підтримувати у потрібному стані. Незважаючи на те, що воно штучне, тобто створена за допомогою людини, на його прикладі легко простежити основні біологічні та екологічні закономірності.

Система моніторингу риб є важливою розробкою, оскільки багато людей люблять вирощувати рибу як своїх домашніх тварин. У нашому повсякденному житті важко регулярно стежити за акваріумом. Як наслідок, це призводить до загибелі риб. Головною проблемою може бути якість води. Якість в основному залежить від таких параметрів, як карбонати, аміак, нітрати, сіль, рН, температура, каламутність, розчинений кисень тощо. Для підтримки цих параметрів у системі моніторингу риби використовуються різні датчики. Це допомагає збільшити репродуктивну здатність риби та зменшити смертність. Багато дослідників пропонували різні способи підтримки якості води в акваріумах і рибних ставках.

Постійний автоматичний моніторинг параметрів води в режимі реального часу не тільки призведе до високоякісного управління аквакультурою, але й надасть точні експериментальні дані, які допоможуть оптимізувати процес вирощування, зменшити витрати на обслуговування та підвищити ефективність утримання водних організмів або простого водного середовища. Для належного моніторингу стану води необхідно мати відповідне обладнання та робочу силу з великим досвідом вирішення

проблем, пов'язаних з отриманням точної інформації для отримання повних і точних результатів.

Метою цієї роботи є підвищення якості моніторингу та адаптивного контролю екологічної рівноваги в закритому водному середовищі шляхом розробки мікроконтролерної системи на основі апаратної моделі з використанням Arduino IDE та програмного застосунку, що спрямовані на більшу гнучкість конфігурації.

Задачі: огляд датчиків, які використовуються в системі моніторингу риби; критичне порівняння різних датчиків з інших дослідницькими робіт та розробка недорогої системи моніторингу і контролю життєдіяльності риби та якості води в аквакультурних і не тільки резервуарах; аналіз характеристик водного середовища, їх вплив один на одного та на водні організми, аналіз та порівняння аналогічних дослідницьких робіт і подальше створення програмної та апаратної моделі пристрою, призначеного для моніторингу та адаптивного контролю екологічної рівноваги в закритому водному середовищі.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Сфера застосування

Перш за все розроблювана система направлена на використання у акваріумах. Цей пріоритет було обрано для якомога ширшого дослідження властивостей водного середовища. Маючи достатню досконалість для контролю життєдіяльності водних організмів та можливість використовувати компоненти окремо, відкривається простір для використання системи в діапазоні від перевірки води на придатність для споживання людиною до моніторингу та контролю аквакультур.

1.2 Аналіз літератури та аналогів

Контроль життєвого циклу риби та інших водних організмів залежить від моніторингу якості води, оскільки хвороби риби дуже поширені та мають прямий вплив на репродукцію.

Однією з помилок власників акваріумів є перегодовування, оскільки недоїдена їжа, яка залишається, може забруднювати воду. Необхідно постійно контролювати важливі параметри, такі як рівень рН, розчинений кисень, рівень води, вміст аміаку та температура в резервуарі, щоб уникнути небажаних умов для існування та вирощування риби [2]. Оскільки риби є холоднокровними тваринами, оптимальну температуру слід підтримувати та контролювати в належному діапазоні. Для правильного метаболізму риbam потрібна достатня кількість кисню, інакше вони залишаються біля поверхні, щоб мати доступ до повітря, що призводить до сповільнення метаболізму та, зрештою, загибелі через нестачу кисню

Недорога автоматизована система допомоги рибництву з використанням Інтернету речей (IoT) розроблена в [3]. Тут для визначення пошкодження води використовуються наступні датчики: температури, кислотності рН та датчик каламутності. Головною метою автора було зробити систему якомога економнішою, у нього не було датчика для вимірювання рівня вмісту аміаку, який також небезпечний для риб, якщо він перетинає нижню межу. Ця система також не має системи автоматизації процесу годування.

Автори роботи [4] розробили систему моніторингу та контролю NFT аквапоніки на базі ІОТ, яка реєструє рН води, рівень аміаку, температуру води та глибину за допомогою датчика рН, датчиків температури, датчиків аміачного газу та ультразвукових датчиків. Датчики глибини використані для отримання рівня глибини води в аквапонічному ставі, а датчик аміачного газу застосовано для виявлення вмісту аміаку в ставі шляхом додавання та корекції значення на основі різниці значення помилки.

Дослідження під назвою «Design and Implementation of Aquarium Remote Automation Monitoring and Control System» спрямоване на покращення того, як люди піклуються про своїх домашніх тварин, реалізуючи технологію догляду з допомогою Інтернету речей. Система складається з модуля керування, модуля моніторингу, відеосервера, центральної серверної платформи та клієнтського сервера. Модуль управління призначений для управління освітленням, киснем і фільтруючим обладнанням в акваріумі. Всі команди в блоках управління надходять на центральну серверну платформу. Пристрій може завантажувати дані з датчика температури на центральний сервер завдяки використанню протоколу RS485. Клієнт системи може отримати доступ до системи двома способами: за допомогою персонального комп'ютера та мобільного телефону. Для використання з ПК розробляється інтернет-сервер на основі технології ASP, користувач може отримати доступ до нього через браузер.

Для мобільних пристроїв розробка ведеться під платформу ОС Android, доступ здійснюється через мережу Wi-Fi або мобільну мережу. Для безпеки користувача система має автентифікацію користувача, всі операції будуть доступні лише дозволеним особам. [5]

Готовий продукт Seneue Home Aquarium Monitor (рис. 1.1). Модуль Seneue призначений для занурення в акваріум. Модуль контролює температуру води, рН і рівень аміаку (NH_3). Система Seneue використовує змінні предметні стекла (слайди), які вимірюють кислотність рН і рівень вмісту аміаку. Для моніторингу стану води воду та збереження показань, пристрій потрібно підключити до джерела живлення. Зазвичай Seneue підключається до ПК. Доступ до інформації моніторингу можна отримати з хмарного сховища за допомогою мобільного пристрою. Дані будуть записуватися щогодини та зберігатися протягом 35 днів. Існує також рифова версія монітора Seneue, що включає лічильник світла, який відстежує кількість і якість світла. Переваги системи:

- проста система «дроп-ін»;
- працює в прісноводних і морських акваріумах.

Недоліки:

- не керує жодними пристроями;
- дорогі слайди потребують заміни щомісяця;



Рисунок 1.1 – Seneeye Home Aquarium Monitor

Готовий продукт Neptune Systems APEX (рис. 1.2). Система Apex поєднує в собі спеціально розроблене обладнання та Apex Fusion. Apex Fusion – це хмарне програмне забезпечення, яке взаємодіє з апаратним забезпеченням. Apex Fusion відстежує та контролює найважливіші параметри в рифовому акваріумі. Система Apex може бути настільки простою чи просунутою, наскільки знадобиться.



Рисунок 1.2 – Neptune Systems APEX

Пристрій можна програмувати через дротову клавіатуру, комп'ютер або інший «smart» пристрій. Арех звітуватиме про стан акваріума. Якщо акваріум стає занадто теплим, Арех Fusion надішле текстове сповіщення. Фіксується рівень рН зі створенням відповідного графіку. Нижче наведено огляд основних завдань. До основного контролера можна підключати різні модулі, що забезпечує багатофункціональність. Більшість спеціалізованих функцій можна додати до системи Арех за потреби.

- автоматична заміна води;
- автоматична подача рідких і сухих кормів;
- бездротове керування сумісним світлодіодним освітленням;
- управління насосом і освітленням;
- автоматичне виявлення витoku та сповіщення;
- перевірка солоності;
- моніторинг розчиненого кисню;
- світлодіодне моделювання місячного циклу.

Базова система поставляється з базовим блоком Арех, дисплеєм Арех, подовжувачем Energy Bar 8, датчиком температури та датчиком рН лабораторного рівня. Переваги системи:

- розширювана система моніторингу та контролю;
- доступно багато приладів АРЕХ;
- програмування та управління через комп'ютер або клавіатуру;
- сумісна з різними світлодіодними лампами та водяними насосами;
- Wi-Fi.

Недоліки:

- для додаткових функцій потрібні додаткові технічні знання;
- розроблена в основному для рифових акваріумів;
- система Wi-Fi дорога.

1.3 Постановка задачі

Сьогодні з'являється багато різних платформ з різними цілями та можливостями, але всі вони страждають від однієї вади: програмне та апаратне забезпечення настільки тісно інтегровані, що в більшості випадків люди не мають свободи у використанні продукту, або їм потрібно «хакнути» систему. Це підводить нас до потреби в системі, яка розроблена, щоб надати користувачеві більшу гнучкість у конфігурації платформи.

Система повинна являти собою модель пристрою з вимірювання показників закритого водного середовища з такими характеристиками:

- зручність побутового використання;
- точність вимірювань;
- надійність контролю зовнішніми пристроями;
- масштабованість системи;
- надійність роботи компонентів;
- простота виготовлення та невисока ціна.

Пристрій повинен складатись з простих та доступних на ринку компонентів, реалізовувати принцип модульності, мати зручний та надійний функціонал, просто встановлюватись.

Задачі, які повинні бути вирішеними:

- вибір початкової системи для реалізації (платформа);
- пошук оптимального рішення серед реалізацій платформи (плата);
- пошук оптимальних за ціною для побутового використання компонентів;
- розробка інтерфейсу користувача, що не буде викликати непорозумінь;
- налаштування стабільної роботи локального серверу.

Система повинна бути якісно протестована задля забезпечення правильності і надійності роботи та точності вимірювань у різних умовах.

2 ОПИС ОБРАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Опис обраної системи

2.1.1 NodeMCU ESP8266

Плата NodeMCU (рис. 2.1) має модуль ESP-12E, що містить у собі чіп ESP8266 з мікропроцесором Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC. Мікропроцесор підтримує RTOS та може працювати на частотах від 80MHz до 160 MHz. Об'єм пам'яті: 128 KB RAM та 4MB Flash [5].



Рисунок 2.1 – NodeMCU ESP8266

Характеристики [7]:

- WiFi 802.11 b/g/n;
- підтримка STA/AP/STA + AP режимів;
- вбудований стек протоколів TCP/IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5);
- D0 ~ D8, SD1 ~ SD3: можуть бути використані як GPIO, PWM, ІІС;
- ток на виведення: 15 мА;
- AD0: 1 виведення АЦП;
- живлення: 4.5-9В (10В максимум), живлення від USB з наданням інтерфейсу відлагодження;
- споживання: обмін даними: ~70 мА (200 мА максимум), очікування: <200 мкА;
- швидкість передачі: 110-460800 б/сек;
- підтримка UART/GPIO інтерфейсів передачі даних;
- перепрошивка з хмари або через USB;
- відстань між контактними пінами: 28 мм;
- діапазон робочих температур: -40°~125° С;
- вага: 18 г.

2.1.2 HC-SR04

HC-SR04 (рис. 2.2) – це цифровий ультразвуковий датчик, що вимірює відстань шляхом випромінювання ультразвукових хвиль і перетворює відбитий звук в електричний сигнал.

Ультразвукові хвилі рухаються швидше, ніж звичайні (тобто хвилі, які чує людина). Ультразвукові датчики мають дві основні складові: передавач і приймач [8].

Так як датчик потребує напругу більше 3.3В, його контакт для живлення має бути під'єднаний до NodeMCU через 5В вихід VU або до зовнішнього джерела енергії.

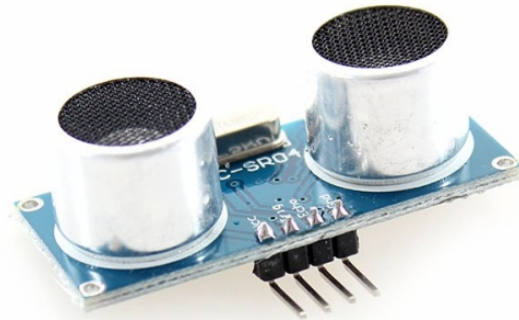


Рисунок 2.2 – HC-SR04

Характеристики [7]:

- робоча напруга: 3.8-5.5В;
- струм: 8 мА;
- частота: 40 кГц;
- максимальна дистанція: 1500 мм;
- мінімальна дистанція: 0 см;
- роздільна здатність: 3 мм;
- ширина імпульсів: 10 мкс;
- кут виміру: 15°;
- зовнішні габарити: 37x20x15 мм.

2.1.3 DS18B20

DS18B20 (рис. 2.3) – це цифровий температурний датчик з великою кількістю функцій. По суті, DS18B20 – це теж мікроконтролер, який може зберігати значення вимірювань, сигналізувати про вихід температури за встановлені межі, міняти точність вимірювань, спосіб взаємодії з контролером.

Мікросхема має три виходи, з яких для даних використовується тільки один, два інших – нуль та живлення. Число дротів можна скоротити до двох, якщо використовувати схему з паразитних живленням та з'єднати Vdd з нулем. До одного дроту з даними можна підключити одразу декілька датчиків DS18B20.



Рисунок 2.3 – DS18B20

Характеристики [7]:

- червоний дріт – VCC (живлення);
- жовтий дріт – DATA (дані);
- чорний дріт – GND (земля);
- робоча напруга дані/живлення від 3В до 5.5В;
- точність $\pm 0.5^\circ \text{C}$ в діапазоні -10°C до 85°C ;
- робочий діапазон температур від -55° до 125°C ;
- вибір 9- чи 12-бітної розрядності;
- інтерфейс 1-Wire;
- унікальний 64-бітний ID в кожному чіпі;
- паралельне включення сенсорів;
- зонд з нержавіючої сталі діаметром 6 мм і довжиною 50 мм;
- кабель діаметром 4 мм і довжиною 100 см.

2.1.4 Реле

Два реле виконують роль з'єднувачів/роз'єднувачів мережі для зовнішніх пристроїв. 5-вольтний 1-канальний модуль реле (рис. 2.4) вимагає 5-20мА для спрацьовування, тож може бути використаний без додаткового живлення та керуватися безпосередньо з виводів мікроконтролера. Вмикається логічним нулем, вимикається логічною одиницею.

Оскільки проект лише імітує реальну систему, реле на даному етапі реалізації не будуть підключеними до нагрівального елемента та насоса для води. Для цього потрібно використати додаткові дроти та, скориставшись інструкціями до приладів, впровадити реле замість або разом з існуючими способами керування зовнішніми приладами. Замість змінення структури зовнішніх приладів можна скористатися спеціальними пристроями для впровадження в електричні кола.

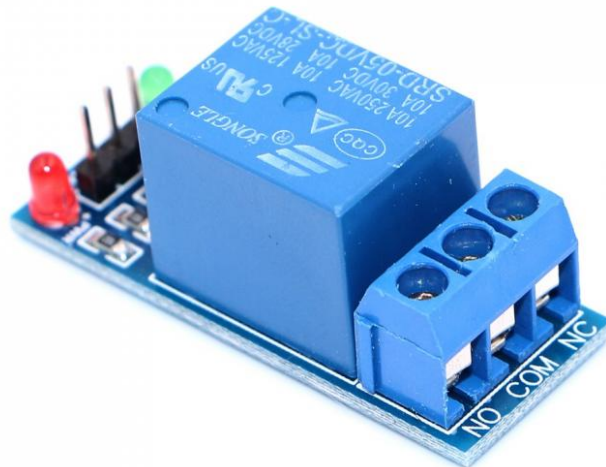


Рисунок 2.4 – Реле

Характеристики [7]:

- максимальний струм комутації реле 10А при 250В;
- на платі є світлодіод що сигналізує про поточний статус реле;
- розміри: 44x17x17мм.

2.1.5 Датчик рН

Аналоговий датчик/вимірювач рН V2 (рис. 2.5) спеціально розроблений для вимірювання рН розчину і відображення кислотності або лужності. Зазвичай використовується в різних додатках, таких як аквапоніка, аквакультура і тестування води в навколишньому середовищі



Рисунок 2.5 – Датчик рН

Характеристики:

- напруга живлення: 3,3 ~ 5,5 В;
- вихідна напруга: 0 ~ 3,0 В;
- роз'єм датчика: BNC;
- сигнальний роз'єм: PH2.0-3P;
- точність вимірювання: $\pm 0.1@25$;
- розмір плати: 42 мм * 32 мм / 1,66 * 1,26 дюйма;
- тип зонда: лабораторний;
- діапазон виявлення: 0 ~ 14;
- діапазон температур: 5 ~ 60 ° С;
- нульова точка: $7 \pm 0,5$;
- час відгуку: <2 хв;
- внутрішній опір: <250 МОм.

2.1.6 Датчик TDS

Датчик TDS в своїй основі є вимірювачем електричного заряду: два електроди розташовуються у воді паралельно один навпроти одного та використовуються для вимірювання заряду (рис. 2.6). Результат інтерпретується TDS-метром і конвертується у проміле.



Рисунок 2.6 – Принцип роботи датчика TDS

Якщо вода не містить розчинних речовин і є чистою, вона не буде проводити заряд і, отже, матиме показник 0 ppm. І навпаки, якщо вода насичена розчиненими речовинами, вона матиме високу електропровідність, отримана цифра проміле буде пропорційна кількості розчинених твердих речовин. Це пояснюється тим, що всі розчинені тверді речовини мають електричний заряд, який забезпечує провідність електричного заряду між електродами.

Gravity Analog TDS Sensor (рис. 2.7) – сумісний із Arduino датчик TDS. Його можна застосовувати до побутової води, гідропоніки та інших областей тестування якості води. Сенсор підтримує широкую вхідну напругу 3,3 ~ 5,5 В і аналогову вихідну напругу 0 ~ 2,3 В, що робить його сумісним із системами або платами керування 5 В або 3,3 В. Джерелом активації є сигнал змінного струму, який ефективно запобігає поляризації зонда та продовжує термін

служби, також підвищуючи стабільність вихідного сигналу. Зонд TDS водонепроникний, його можна занурювати у воду на тривалий час.

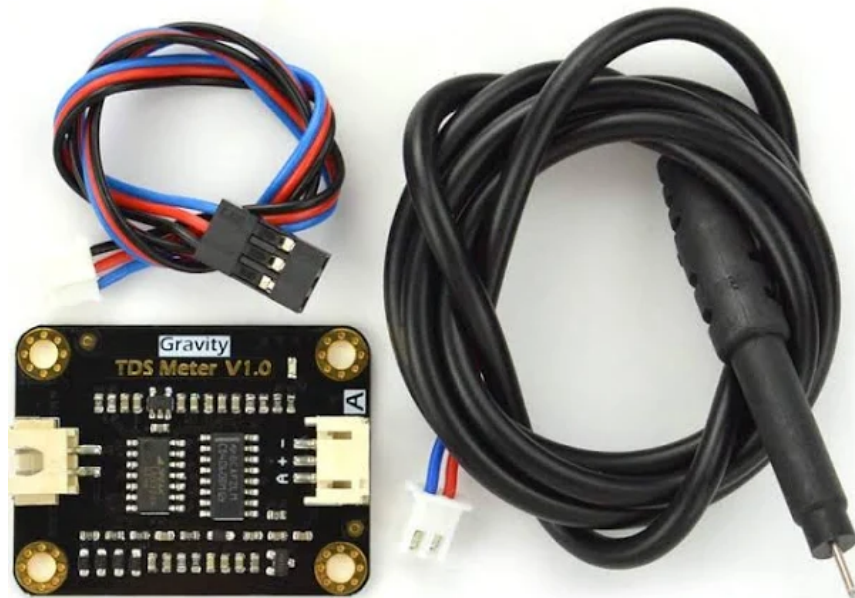


Рисунок 2.7 – Датчик TDS

Характеристики:

- напруга живлення: 3,3 ~ 5,5 В;
- вихідна напруга: 0 ~ 2,3 В;
- робочий струм: 3 ~ 6 мА;
- діапазон вимірювання TDS: 0 ~ 1000 ppm;
- точність вимірювання TDS: $\pm 10\%$ FS (25 °C);
- зонд TDS з кількістю голок: 2;

2.2 Теоретичні відомості. Параметри водного середовища

2.2.1 Температура

Для утримання риб та рослин в акваріумі також важливо підтримувати певну температуру, за якої вони добре живуть і розмножуються. Відомо, що зміна температури середовища впливає на температуру тіла риб і рослин і веде до зміни швидкості обмінних біохімічних процесів в організмах, що значною мірою відбивається на їхньому здоров'ї та стані. Швидкість протікання хімічних реакцій із підвищенням температури на 10 °C зростає в 2-3 рази, причому прискорення біохімічних процесів при нагріванні не є необмеженими. За певної температури активність організму спадає, і її змінює фаза пригнічення.

Риби, що мешкають в помірних зонах земної кулі, є евритермними організмами, здатними існувати в широкому температурному діапазоні. В одних випадках вони занурюються в зимову або літню сплячку, перестають їсти, стають нерухомими, зариваються в мул. В інших випадках вони намагаються уникнути несприятливих для них умов і здійснюють сезонні міграції. Різка та сильна зміна температури викликає шоківий стан, при якому риби втрачають здатність самостійно залишити небезпечну зону, і якщо умови не змінюються, гинуть.

Амплітуда сезонних та добових коливань температури у водоймах тропічного поясу невелика. У зв'язку з цим риби, що мешкають у них, є переважно стенотермними видами, які вимагають підтримки в акваріумі постійної, відносно високої температури. Звичайна для житлових приміщень температура повітря близько 18-22 градусів для багатьох екзотичних видів риб явно недостатня. Багато любителів містять акваріумних риб при кімнатній температурі, забуваючи про те, що, якщо в кімнаті на термометрі буде 22 градуси, то в акваріумі вода завжди на 2 градуси нижче.

Різниця температур може негативно позначитися на стані теплолюбних риб, більшість з яких не витримують температури нижче 18-20 градусів, і мальків. У зв'язку з цим, при коливанні температури необхідний штучний підігрів води. З цією метою використовують електричні обігрівальні прилади та датчики температури.

2.2.2 Рівень рН

Значення рН в акваріумі відіграє ключову роль для життя риб і рослин, і є основним показником води. рН визначає кількість розчинених кислот у воді. Шкала рН має значення від 0 до 14. Показник 0 це абсолютно кисла вода, показник 14 це лужна вода (рис. 2.8). При значенні рН 7 вода вважається нейтральною. Вода з показниками рН менше 4,5 і більше 9,5 вважається агресивною для живих організмів і є непридатною для проживання.



Рисунок 2.8 – Діапазон шкали рН

Цей показник відображає кількість певних іонів у воді, які відповідають за кислотність та лужність. Зміна значення рН на одну одиницю означає зміну кількості іонів в 10 разів, на 2 одиниці в 100 разів, а на 3 одиниці в 1000 разів. Зміна води навіть на одну одиницю, веде до сильного

стресу у риб, рослин та мікроорганізмів, оскільки кількість іонів змінюється у 10 разів.

Діапазон шкали рН, від кислого середовища до лужного:

- більшість акваріумних риб живе у воді з діапазоном рН 6 - 8;
- тропічні рослини, риби та креветки надають перевагу рН 6,5 - 7;
- для акваріумів травників та креветочників оптимальний рН 6,5;
- для африканських цихлід Малаві та Танганьїка, оптимальний рН 7 - 8,5;
- для американських цихлід, як обговорення, оптимальний рН 6,5;
- для більшості морських риб та коралів, оптимальний рН 8 - 8,5.

Як часто вимірювати рН в акваріумі? Рекомендується один раз на тиждень або за таких подій в акваріумі як:

- після заміни води в акваріумі;
- при використанні в акваріумі добрив, які можуть змінювати рН;
- при використанні засобів та кондиціонерів в акваріумі для лікування та профілактики риби;
- при розміщенні в акваріумі нових декорацій чи ґрунту, оскільки це може впливати на кислотність води;
- зміна наповнювача у фільтрі також може вплинути на рН;
- при поганому самопочутті риби та рослин.

Правильний та стабільний рівень кислотності в акваріумі це запорука гарного самопочуття риби та зростання здорових рослин.

Зміна рівня рН має відбуватися максимально плавно, щоб уникнути проблем із самопочуттям риби та рослин.

Для зниження рівня кислотності можна використовувати спеціальні засоби, що містять в своїй основі кислоти, що знижують лужність води в акваріумі, так звані «рН-». Ще один природний спосіб знизити рН, це використовувати живильні ґрунти-соїли в акваріумі, які знижують лужність

та тримають її на стабільно низькому рівні. Як правило, до складу цих ґрунтів входить торф, який є природним окислювачем води.

Для збільшення лужності можна застосувати засоби категорії «рН+» або мармуровий ґрунт, коралова крихта. Але важливо враховувати, що ці ґрунти також піднімають жорсткість води в акваріумі.

Зважаючи на вищесказане, можна зробити висновок, що автоматичний контроль або зміна рівня рН у водному середовищі має проводитись дозуванням спеціальних засобів або ґрунтів згідно показників датчика кислотності.

2.2.3 Жорсткість води GH та KH

Жорсткість є найважливішим параметром прісноводної води, і безпосередньо впливає на вміст і розмноження риб, а також на вирощування рослин в акваріумі.

Водопровідна вода для більшості акваріумів має річкове походження, яка в свою чергу складається з дощової води, ґрунтових вод і дрібних струмків. Ґрунтові води це теж дощова вода, збагачена вуглекислим газом з атмосфери і пропущена через ґрунт до глибоких шарів землі. Дощова вода, проходячи через пласти землі, розчиняє мінерали і змінює свій склад, набуваючи жорсткості.

Дощова вода, що містить CO₂, проникає через шари землі, насичуючись по дорозі різними мінеральними речовинами.

Жорсткість води вимірюється у градусах dH і буває двох видів.

- загальна жорсткість (gH);
- карбонатна жорсткість (kH).

Загальна жорсткість GH – кількість розчинених у воді солей, таких мінералів як кальцій (Ca) та магній (Mg). Джерелом цих елементів у воді є мінеральні пласти вапняку, доломітів і гіпсу. При високому вмісті у воді

солей магнію та кальцію таку воду називають «Жорсткою». При низькому вмісті солей магнію та кальцію воду називають «М'якою». Загальна жорсткість грає ключову роль біологічних процесах акваріума. Розчинені солі магнію та кальцію, безпосередньо впливають на формування кісток риб'ячого скелета та черепашок у молюсків. Сприятливий рівень загальної жорсткості для більшості риб є 6 - 16 °dH.

Вода із показниками загальної жорсткості GH:

- м'яка вода, 0 - 7 ° dH;
- середньо тверда вода, 7 - 14 °dH;
- жорстка вода, 14 - 21 °dH;
- дуже жорстка вода, більша за 21 °dH.

Карбонатна жорсткість (тимчасова) викликана вмістом гідрокарбонатів магнію та кальцію ($Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$). Ці сполуки нетривалі і при кип'ятінні легко випадають в осад, звідки виникло поняття тимчасового вмісту їх у воді.

Будь-яка вода, за рідкісним винятком, містить карбонати. Карбонатна жорсткість відіграє важливу роль у стабільності води, тому що є буфером для pH, і гарантує відсутність екстремальних стрибків кислотності та лужності у воді. Сприятливий рівень карбонатної жорсткості kH становить 3 - 10 °dH. Оптимальний показник kH для акваріума з живими рослинами від 2 до 6 °dH.

Вимірявши рівень pH (кислотність та лужність) та зіставивши з даними kH (карбонатна жорсткість). Можна дізнатися вміст розчиненого вуглекислого газу воді (CO_2) (рис. 2.9), який впливає на швидкість росту рослин в акваріумі. Чим менша карбонатна жорсткість води kH, тим легше збагачувати воду вуглекислим газом (CO_2).

pH \ K _H	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,8	7,9	8
1	32	25	20	16	13	10	8	6	5	4	3	3	2	2	1	1	1	1	0	0
2	64	50	40	32	25	20	16	13	10	8	6	5	4	3	3	2	2	1	1	1
3	95	76	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4	3	2	2	1	1
4	127	101	80	64	51	40	32	25	20	16	13	10	7	6	5	4	3	2	2	1
5	159	126	100	80	63	50	40	32	25	20	16	13	10	8	6	5	4	3	2	2
6	191	151	120	96	76	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	3	2	2
7	222	177	140	111	89	70	56	44	35	28	22	18	14	11	9	7	6	4	3	2
8	254	202	160	127	101	80	64	51	40	32	25	20	16	13	10	8	6	4	3	3
9	288	227	180	143	114	90	72	57	45	36	29	23	18	14	11	9	7	5	4	3
10	318	252	200	159	126	100	80	63	50	40	32	25	20	16	13	10	8	5	4	3
11	350	278	221	175	139	111	88	70	55	44	35	28	22	18	14	11	9	6	4	3
12	381	303	241	191	152	121	96	76	60	48	38	30	24	19	15	12	10	6	5	4
13	413	328	261	207	164	131	104	82	65	52	41	33	26	21	16	13	10	7	5	4
14	445	353	281	223	177	141	112	89	70	56	44	35	28	22	18	14	11	7	6	4
15	477	379	301	239	190	151	120	95	76	60	48	38	30	24	19	15	12	8	6	5
16	508	404	321	255	202	161	128	101	81	64	51	40	32	25	20	16	13	8	6	5
17	540	429	341	271	215	171	136	108	86	68	54	43	34	27	22	17	14	9	7	5
18	572	454	361	287	228	181	144	114	91	72	57	45	36	29	23	18	14	9	7	6
19	604	480	381	303	240	191	152	120	96	76	60	48	38	30	24	19	15	10	8	6
20	635	505	401	318	253	201	160	127	101	80	64	50	40	32	25	20	16	10	8	6

Рисунок 2.9 – Таблиця співвідношення рН та кН

Співвідношення понять:

- загальна жорсткість води – сума окислов і гідроокислов лужноземельних металів;
- кальцієва жорсткість води – вміст іонів кальцію у воді у відсотках;
- магнієва жорсткість – вміст іонів магнію у воді у відсотках;
- карбонатна жорсткість води – вміст у воді карбонатних іонів окислов та гідроокислов лужноземельних металів;
- некарбонатна жорсткість води – має на увазі некарбонатні іони окислов та гідроокислов лужноземельних металів.

Важливо розуміти, що, якщо додати невелику кількість кислоти для зниження рН у воду акваріума з високим рівнем карбонатної твердості кН, карбонатна жорсткість нейтралізує кислоту і зменшиться сам параметр кН. Але якщо додати кількість кислоти в акваріум з низьким рівнем кН, значення рН сильно знизиться, і риба може загинути.

Як і у випадку з кислотністю має зміна жорсткості води має відбуватися максимально плавно, щоб уникнути проблем із самопочуттям риб та рослин. Зміна жорсткості води може безпосередньо вплинути на рівень рН, а точніше збільшення його в лужну сторону.

Є кілька способів знизити жорсткість до прийняттого рівня:

– кип'ятінням води. Досить простий спосіб для акваріумів із невеликим об'ємом води. При кип'ятінні води на дно випадає мінеральний осад, а воду з середніх шарів можна використовувати при заміні води в акваріумі, тим самим знизити жорсткість води;

– дистильована вода. Дистильована вода очищена від мінералів та має практично нульовий показник жорсткості. Цю воду також можна використовувати при заміні води в акваріумі або змішати її з водопровідною;

– іонообмінна смола. Вона поміщається в перфорованому мішку на дно акваріума на 12 або 24 години, у місце, де є перебіг від фільтра. Іонообмінна смола видаляють розчинені солі жорсткості та метали за рахунок іонного обміну, тим самим роблячи воду м'якшою;

– зворотній осмос. Напевно, найефективніший спосіб пом'якшення води для акваріуміста. Осмос підключається до водопроводу і завдяки його тиску, продавлює через свої мембрани потік води. Дрібна мембрана затримує всі мінерали і пропускає через себе чисту і м'яку воду;

– спеціальні засоби «pH/kH-». Дані засоби знижують карбонатну жорсткість, містять в основі кислоти, які не тільки знижує kH води, але і збільшує її кислотність pH.

Підвищити жорсткість можна наступними способами:

– солі жорсткості. Іноді їх називають «kH+» та «gH+», ремінералами чи бустерами. Ці солі штучно підвищують жорсткість води і насичують її мінералами необхідними життя риб і рослин. Випускаються у порошкоподібному вигляді.

– реактиви «kH+» та «gH+». Ці засоби призначені для підвищення величини карбонатної або загальної жорсткості, мають рідку форму та легко розчиняються у воді.

– ґрунт та наповнювач. Ще один спосіб, що підвищує загальну та карбонатну жорсткість, – використання мармурової або коралової крихти у

вигляді ґрунту або у вигляді наповнювача для зовнішнього фільтра. Ґрунт із великим вмістом черепашок теж підійде для підвищення жорсткості. Але такий спосіб має значний недолік – на практиці неможливо спрогнозувати рівень і інтенсивність підвищення жорсткості у воді.

2.2.4 Рівень вмісту аміаку NH_3 і NH_4^+

Аміак – основний компонент рибних відходів. Аміак утворюється на першій стадії розкладу органічних решток. Він має характерний, неприємний запах. В наслідок наявності аміаку у воді змінюється кислотно-лужний баланс: рН підвищується. Аміак шкідливий для риб і має тенденцію до зростання у новостворених акваріумах через брак нітрифікуючих бактерій, додавання занадто великої кількості риби одночасно, перегодовування або комбінацію цих факторів. Він також може підвищуватися в густо заповнених резервуарах через надмірне годування та/або недостатню фільтрацію. Аміак більш токсичний при високих температурах і рівнях рН вище 7 і менш шкідливий при нижчих температурах і рівнях рН нижче 7. Єдиним безпечним рівнем аміаку є нуль.

Для вимірювання концентрації іонів амонію можна використовувати датчик амонію. За його показаннями можна оцінити ступінь забруднення води внаслідок застосування добрив.

2.2.5 Рівень вмісту нітриту NO_2

Нітрит – нітрифікуючі бактерії, що живуть у фільтрі та акваріумі, перетворюють аміак на нітрит (NO_2). Зростання нітритів зазвичай слідує за сплеском аміаку. Нітрит перешкоджає надходженню кисню в кров риб, викликаючи їх задуху. Єдиним безпечним рівнем нітритів є нуль. Для вимірювання концентрації нітрат-іонів можна використовувати датчик нітратів.

2.2.6 TDS

TDS (Total Dissolved Solids) означає загальну кількість розчинених твердих речовин; це включає всі розчинені органічні та неорганічні речовини у воді. За показником TDS не можна судити про те, що знаходиться у воді – важливо те, з чого складається значення TDS. Наприклад, 100 ppm кальцію у воді (висока TDS) є відносно нешкідливим, тоді як 5 ppm міді (низька TDS) вб'є більшість водних організмів.

PPM (parts per million) – кількість «частинок на мільйон», проміле, також можна виразити через міліграми на літр (мг/л). Цей показник є масою хімічної речовини або забруднення на одиницю об'єму води (рис. 2.10).

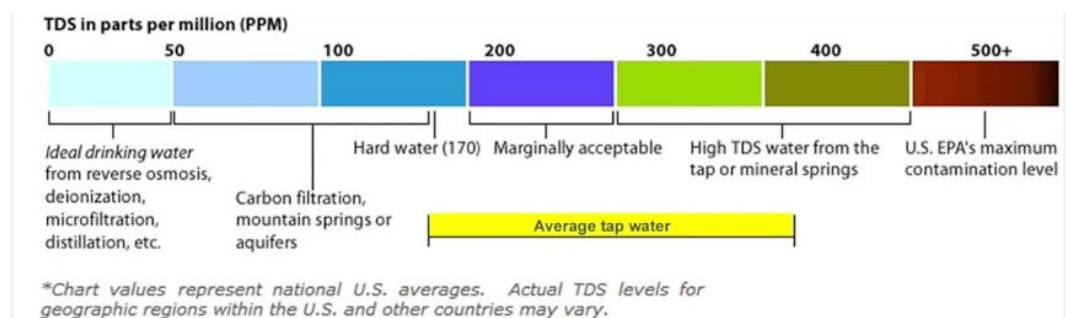


Рисунок 2.10 – Діапазони забруднення у ppm для вод США

Дуже високі рівні TDS можуть викликати сольовий стрес у рослин та тварин. Якщо невідомо, з чого складається значення TDS (які елементи розчинені у воді), важко сказати, при якому значенні ppm це стає шкідливим. Прісна вода за визначенням має менше 1500 ppm TDS, тоді як морська вода, як правило, перевищує 5000 ppm. Це не означає, що при TDS менше 1500 частинок на мільйон, вода вважається нормальною. Вагомість нижчого показника TDS полягає в тому, що, загалом, це означає, що у товщі води менше невідомих.

Якщо регулярно перевіряти водопровідну воду, можна виявити, що значення TDS коливається в широкому діапазоні. Коливання більше 50 ppm є приводом зробити висновок, що водопровідна вода нестабільна, і було б доцільно перевірити і інші значення на приклад відхилення від меж діапазону (KH, pH тощо).

Для акваріумів з рослинами дозування добрив може природно підвищити значення TDS.

TDS корисно використовувати як відносний тест. Його можна застосувати, коли до акваріуму додається каміння, дерево або інші матеріали. Каміння замочується у резервуарі з водою і, якщо TDS з часом підвищується, це означає, що якась частина породи розчиняється. Повністю інертна порода не змінить значення TDS.

Відносний тест також можна застосувати до органічних відходів. Органічні відходи підвищують TDS. Розпад органічних відходів проходить проміжні стадії, на яких у товщу води вивільняються вуглеводи, ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти. Хороший бактеріальний цикл швидко розкладає їх на простіші елементи. Високий рівень неперетравлених органічних відходів викликає цвітіння водоростей. Органічні відходи походять від худоби та рослин, що погіршуються (або рослини погано ростуть, або старі), простий спосіб позбутися цього – регулярно міняти воду.

2.2.7 Електропровідність

Електропровідність води в акваріумі є значущим показником. Особливо цей параметр впливає на клімат у нерестовому акваріумі. Значення електропровідності можна отримати з допомогою транзисторного тестера.

В природі є дуже мало води, що не проводить струм, але конкретні показники є дуже важливими: вони допомагають визначити вміст електроліту в воді (осмотичне співвідношення). Електроліти напряму впливають на функцію розмноження риб та інших водних організмів.

Вимірювання електропровідності здійснюється за температури 20 градусів Цельсію. Якщо температура досліджуваної води відрізняється від 20 градусів, то на тестере потрібно виставити потрібне значення, оскільки цей показник змінюється в залежності від температури.

В акваріумі постійно відбувається хімічний процес утилізації відходів живих організмів: перегнивання відмерлих водоростей, фекалій риб, решток корму. Всі органічні решки, окислюючись, перетворюються на отруйні речовини, що може впливати на умови життя риб та рослин. У природніх умовах проблема вирішується сама по собі – відбувається самоочищення. Але це можливо тільки тоді, коли вода насичена киснем, а щільність населення досить незначна. В хатніх умовах потрібно докладати спеціальних зусиль, аби підтримувати воду в акваріумі у стані, безпечному для риб: забезпечити циркуляцію води, насичення киснем, фільтрацію.

2.2.8 Концентрація кисню

Для процесів, що протікають в акваріумі, кисень відіграє важливу роль. Він використовується для дихання рибами, рослинами, бере участь в окисленні органіки. Без кисню нормальне функціонування акваріума неможливе. Його має містити і вода для акваріума. Як він потрапляє у воду? Насамперед, через газообмін на поверхні води. У природі вода перебуває у постійному русі. Брижі і хвилі на поверхні посилюють процес дифузії, в той час коли вода з джерел і кринична вода в більшості випадків бідна на кисень.

В акваріумі кисень потрапляє у воду під час продування її потоком повітря (за допомогою компресора або фільтра), а також за допомогою фотосинтезу рослин. У другому випадку, при великій щільності посадки та активно асимілюючих рослин концентрація кисню може перевищити допустимі значення. Особливо це небезпечно для холодноводних риб, оскільки зі зниженням температури кількість розчинених газів збільшується. Залежність максимально можливої концентрації від температури наведена в таблиці (рис. 2.11).

Температура води, С	Гранично можлива концентрація кисню в воді мг/л	Мінімально допустима концентрація кисню (приблизна) мг/л
5	13,8	9,1
10	12,0	8,8
15	10,3	8,3
20	9,3	7,8
25	8,3	7,4
30	7,6	6,9

Рисунок 2.11 – Залежність максимально можливої концентрації кисню від температури

Як видно з таблиці, можлива інша сторона питання, коли при підвищенні температури вода для акваріума стає здатна розчинити в собі меншу кількість кисню. У таких випадках потрібно підтримувати вміст кисню якомога вищому рівні будь-якими засобами і намагатися, щоб його

концентрація не падала нижче 7 мг/л. У таблиці наведено приблизні значення мінімально допустимої концентрації кисню. Це усереднені цифри, які потрібно коригувати залежно від виду рибок, які у акваріумі. Так дрібніші види споживають більше кисню у перерахунку на одиницю маси тіла. При зниженні вмісту кисню в воді у риб з'являються ознаки кисневого голодування, які можуть призвести до задухи. У той же час, багато риб можуть жити у водах з екстремально низьким вмістом кисню у воді, наприклад лабіринтові. Або нормально існувати в умовах його дефіциту за рахунок здатності особливого кишкового дихання, як це роблять коридораси.

Також кисень витрачається при протіканні процесів окислення органіки. Тому у разі виникнення перегодування, загибелі риби або інших випадків, коли у воду потрапляє велика кількість органічних речовин, може спостерігатися різке падіння розчиненого кисню з усіма наслідками.

2.2.9 Концентрація вуглекислого газу

Вуглекислий газ, на відміну кисню, не надходить з поверхні води шляхом дифузії, а навпаки вивітрюється в атмосферу. У природну воду він потрапляє з ґрунту. Крім того, вуглекислий газ є продуктом дихання риб. У великих концентраціях призводить до отруєння риби та її масової загибелі. Загалом підвищення його концентрації відбувається у темну пору доби, коли рослини перестають виділяти кисень і активно виділяють вуглекислий газ.

Температура води, С	Гранично можлива концентрація CO ₂ в воді мг/л
5	2800
10	2400
15	2000
20	1700
25	1500
30	1300

Рисунок 2.12 – Залежність максимально можливої концентрації CO₂ від температури

Насамперед двоокис вуглецю необхідний для акваріума через рослини, які використовують його в процесі фотосинтезу. Також розчинений вуглекислий газ використовується для підкислення води. Приблизно 0,1-0,2% розчиненого вуглекислого газу CO₂ переходить у вугільну кислоту H₂CO₃, яка призводить до зниження рН води.

Здатність CO₂ розчинитися у воді приблизно у 150-200 разів вище, тому його концентрація легко може перевищити допустиму. Для видалення вуглекислого газу застосовують аерацію та активне перемішування води на поверхні, створення брижів (наприклад, дощування).

Для збагачення води вуглекислим газом застосовують дріжджове бродіння, балонні системи, реакцію соди з лимонною кислотою та інші способи.

2.3 Теоретичні відомості. Використовувані технології

2.3.1 Qt

Для розроблюваної системи необхідне програмне забезпечення для роботи інтерфейсу контролю. Було вирішено обрати мову програмування C++ і компілятор MSVC2017. Обрані технології застосовуються насамперед для розробки високопродуктивних програм. Застосунок повинен мати інтерфейс користувача та бути здібним працювати в WEB, виконувати HTTP-запити.

Найбільш повно дані потреби задовільняє технологія Qt. Це крос-платформова бібліотека для розробки прикладного програмного забезпечення для настільних комп'ютерів, вбудованих та мобільних систем. Підтримує такі платформи як Linux, OS X, Windows, VxWorks, QNX, Android, iOS.

Фреймворк розроблено на C++, але він також має власний препроцесор – мета-об'єктний компілятор, що розширює можливості мови програмування функціоналом, таким як сутність QObject, механізм сигналів і слотів. Перед етапом компіляції він робить підстановку та генерує необхідний код, який забезпечує функціонування усіх можливостей [10].

Фреймворком забезпечено набір різноманітних бібліотек, що дозволяють працювати з мережею, операційною, файловою системою, базами даних, будувати графічний інтерфейс користувача будь-якого рівня складності.

До складу також входить власна система збірки QMake, яка полегшує побудову проектів. Готовий проект можна зібрати для різних операційних систем, наведених вище. Отже, для розробки застосунку для налаштування системи було обрано цей інструмент через його сумісність з мовою C++, наявністю усіх необхідних бібліотек та загальну зручність.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

3.1 Програма для плати NodeMCU

3.1.1 Налаштування Arduino IDE

Для програмування мікроконтролера ESP8266 зручно використовувати відносно просте в опануванні і сучасне середовище інтегрованої розробки Arduino Integrated Development Environment. У ньому можна розробляти програми для мікроконтролерів багатocільовими мовами програмування C та C++ з використанням готових програмних модулів. Також надається можливість виводу даних у послідовний порт під час програмування та компіляції.

Програму можна завантажити з офіційного сайту постачальника та розробника Arduino разом із необхідними бібліотеками для взаємодії з різними інтерфейсами та датчиками.

У першу чергу потрібно провести налаштування програмного забезпечення обравши в відповідному меню плату NodeMCU правильної версії, вказати USB порт через який встановлено з'єднання. Аби переконатися у справності підключення та готовності до роботи, слід використати функцію «Get Board Info» у верхньому меню, яка виводить базову інформацію про взаємодію персонального комп'ютера і пристрою на базі мікроконтролера.

Щоб перевірити код на слідування правилам і синтаксису мови програмування, слід скористатися функцією «Verify», яка запускає процес компіляції. У разі наявності помилок в консоль середовища буде виведено необхідну інформацію для подальшого аналізу. Для завантаження прошивки на мікроконтролер потрібно використати функцію «Upload».

3.1.2 Використані бібліотеки

Для написання програми знадобляться наступні бібліотеки:

- а) OneWire для роботи з датчиком температури DS18B20 через простий інтерфейс 1Wire;
- б) GravityTDS – для роботи з датчиком визначення кількості розчинених твердих речовин TDS Sensor;
- в) DallasTemperature, який є надбудовою OneWire, дозволяє масштабувати систему розширенням кількості датчиків;
- г) ArduinoJson – надає можливість конвертувати та обробляти дані у форматі JavaScript Object Notation;
- г) ESP8266WiFi, WiFiClient, ESP8266WebServer мають імплементацію необхідного функціоналу та обгортку для створення веб-серверу, обробки та побудови запитів, отримання відповідей на стороні клієнта.

3.1.3 Розробка програми

За правильним стилем написання програм на початку виконується підключення зовнішніх готових програмних модулів та бібліотек у довільному порядку:

```
#include <OneWire.h>
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"
#include <DallasTemperature.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

Для іменування використаних виходів і входів мікроконтролеру зручно описати константи використовуючи директиви препроцесору define, яка має механізм підставки заданих чисел та строк на етапі компіляції, що не дасть

допустити помилку та виведе у термінал наявну інформацію про використаний тип даних тощо:

```
#define RELAY_PUMP_PIN D0           //пін для реле насосу
#define RELAY_TEMP_PIN D1          //пін для реле нагрівача
#define US_ECHO_PIN D2             //пін для отримання УЗ сигналу
#define US_TRIGGER_PIN D3         //пін для відправки УЗ сигналу
#define ONE_WIRE_PIN D4           //пін для DS18B20
#define BUTON_PIN D5              //пін для перемикача
```

Для збереження даних про мережу таких як назва, пароль та порт створено простір імен `NetworkConnection`. Також у ньому знаходиться функція `sendJsonResponse` яка відсилає відповідь на сервер у текстовому форматі `JavaScript Object Notation`. Простір імен `RequestData` має в собі повний перелік необхідних константних строк з найменуванням команд та параметрів задля взаємодії повідомленнями через мережу. (Лістинг 3.1)

Лістинг 3.1 – Простори імен з даними для HTTP-запитів

```
namespace NetworkConnection
{
    const String name = "TP_LINK_1337";
    const String password = "1234";
    const int port = 4444;
    void sendJsonResponse(AsyncWebServerRequest* request,
                          JsonObject& jsonObject)
    {
        AsyncResponseStream* response =
            request->beginResponseStream("application/json");
        jsonObject.printTo(*response);
        request->send(response);
    }
}

namespace RequestData
{
    const String root = "/settings";
    const String setTempetarure = "set_tempetarure";
    const String getTempetarure = "get_tempetarure";
    const String turnOnHeating = "turn_on_heating";
    const String turnOnFan = "turn_on_fan";
    const String setLevelOfWater = "set_level_of_water";
```

```

const String turnOnPump = "turn_on_pump";
const String turnOffPump = "turn_off_pump";
const String setPhRange = "set_ph_range";
const String getPh = "get_ph";
const String setGhRange = "set_gh_range";
const String getGh = "get_gh";
const String setKhRange = "set_kh_range";
const String getKh = "get_kh";
const String setTotalDissolvedSolidsRange = "set_tds_range";
const String setLightMode = "set_light_mode";
const String setLightSchedule = "set_light_schedule";
const String setLightSensorValue = "set_light_sensor_value";
}

```

Лістинг програми для плат які програмуються засобами Arduino IDE складається функцій `setup()` та `loop()`.

Функція `setup()` виконується при початку живлення плати. В ній слід описати налаштування режимів роботи вхідних та вихідних портів, режимів роботи інтерфейсів та послідовного порту. Також виконується підключення до локальної мережі, базове налаштування та ініціалізація веб-серверу.

Встановлення режимів роботи портів:

```

pinMode(RELAY_PUMP_PIN, OUTPUT);
pinMode(RELAY_TEMP_PIN, OUTPUT);
pinMode(US_TRIGGER_PIN, OUTPUT);
pinMode(US_ECHO_PIN, INPUT);
pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

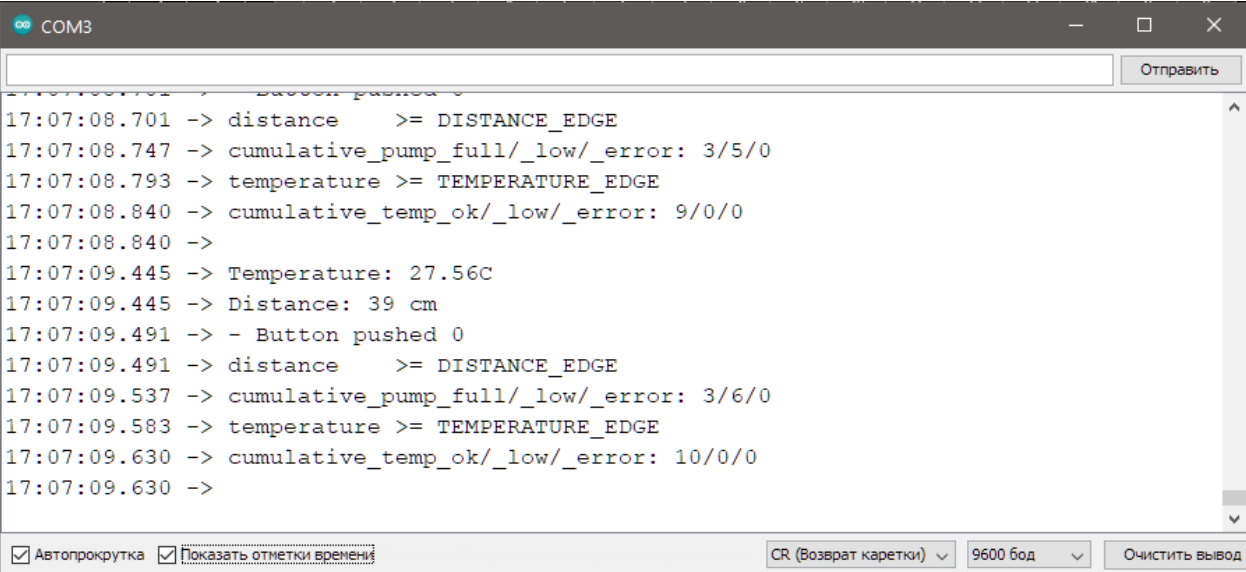
```

Функція `loop()` виконується допоки плата під'єднана до живлення. В її тілі проходить зчитування показань датчиків, нормалізація їх представлення, обробка значень, виконання дій, які відповідають умовам задачі та підтримка роботи серверу, фіксація натискання на кнопку-перемикач, що контролює керування зовнішніми пристроями.

Також в кодї програми реалізовано систему відлагодження (рис. 3.1), що базується на вбудованій можливості моніторингу порту Arduino IDE та класі `Serial`. Виклик функції `Serial.begin(9600);` встановлює швидкість обміну даними через послідовний порт, який використовується для

моніторингу. Функції `Serial.println()` та `Serial.print()` виводять потрібну інформацію на різних етапах виконання програми. Наприклад, виведення даних про температуру виконується наступним чином:

```
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(tempSensor1);
Serial.println('C');
```



The screenshot shows a serial terminal window titled 'COM3'. The output text is as follows:

```
17:07:08.701 -> distance    >= DISTANCE_EDGE
17:07:08.747 -> cumulative_pump_full/_low/_error: 3/5/0
17:07:08.793 -> temperature >= TEMPERATURE_EDGE
17:07:08.840 -> cumulative_temp_ok/_low/_error: 9/0/0
17:07:08.840 ->
17:07:09.445 -> Temperature: 27.56C
17:07:09.445 -> Distance: 39 cm
17:07:09.491 -> - Button pushed 0
17:07:09.491 -> distance    >= DISTANCE_EDGE
17:07:09.537 -> cumulative_pump_full/_low/_error: 3/6/0
17:07:09.583 -> temperature >= TEMPERATURE_EDGE
17:07:09.630 -> cumulative_temp_ok/_low/_error: 10/0/0
17:07:09.630 ->
```

At the bottom of the window, there are control options: Автопрокрутка, Показать отметки времени, CR (Возврат каретки), 9600 бод, and Очистить вывод.

Рисунок 3.1 – Відлагодження

Зчитування даних з датчика відстані відбувається наступними командами для первинної ініціалізації та логікою вимірювання:

```
digitalWrite(US_TRIGGER_PIN, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(US_TRIGGER_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(US_TRIGGER_PIN, LOW);
long duration = pulseIn(US_ECHO_PIN, HIGH);
distance = (duration / 2) / 29; // см
```

Рядок `digitalWrite(US_TRIGGER_PIN, HIGH);` посилає ультразвукову хвилю та встановлює логічну 1 на виході ЕХО. Коли хвиля відбивається від якоїсь поверхні і повертається до датчика, вихід ЕХО

встановлюється в логічній 0. Тривалість знаходження логічної 1 на виході реєструється функцією `pulseIn()`. Так як тривалість імпульсу це час його проходження до перешкоди, від якої він відбивається, та назад, для обчислення відстані отримане значення ділиться на 2. Нове значення потрібно помножити на швидкість звуку в повітрі, але ця величина залежить від температури повітря, тому для економії на додатковому датчику температури було вирішено використовувати значення швидкості при температурі повітря 23 градуси Цельсія, що дорівнює 1/29 м/мкс.

У початковому коді можна встановити межу рівня води (за замовчуванням 25 см), після перетину якої при наповненні ємності спрацьовує реле та зупиняє насос, що подає воду:

```
#define DISTANCE_EDGE    25
```

Задля стабільності роботи системи це відбувається не відразу після перетину рідиною межі, а через десять секунд. Для забезпечення більшої надійності та зменшення кількості неточностей у вимірюваннях реалізовано систему накопичувальних змінних: якщо за десять вимірів був зафіксований перетин встановленої межі або її недосягання і сума цих значень менше 17, реле зупиняє насос або запускає, відповідно; накопичувальні змінні скидаються. Схожим чином реалізована система виявлення помилки зчитування показань датчику відстані: після десяти реєстрацій нульових показань реле зупиняє насос, накопичувальні змінні скидаються. (Лістинг 3.2) Через використання такого методу, з'являється затримка в роботі пристрою, але для побутової системи це не критично. Константа для визначення межі розрахунків та накопичувальні змінні:

```
#define CUMULATIVE_COUNT 10
long cumulative_pump_full = 0, cumulative_pump_low = 0,
cumulative_pump_error = 0;
```

Лістинг 3.2 – Накопичення даних про рівень води

```

if (distance == 0)
{
    cumulative_pump_error++;
    Serial.println("DISTANCE ERROR");
    print_pump_stats();
}
else if (distance < DISTANCE_EDGE)
{
    cumulative_pump_full++;
    Serial.println("distance < DISTANCE_EDGE");
    print_pump_stats();
}
else
{
    cumulative_pump_low++;
    Serial.println("distance >= DISTANCE_EDGE");
    print_pump_stats();
}

```

Зчитування даних з датчика відстані відбувається наступним чином:

```

sensor.requestTemperatures();
tempSensor1 = sensor.getTempC(sensor1);

```

Показання зчитуються за допомогою об'єктів DallasTemperature та OneWire в три етапи:

- запуск вимірювання;
- генерація затримки для правильного зчитування показань аналого-цифровим перетворювачем датчика;
- зчитування показань з пам'яті датчика.

У програмному коді можна встановити межу значення температури (за замовчуванням 19 градусів Цельсія), після досягнення якої при нагріванні рідини спрацьовує реле та відключає нагрівальний елемент.

Задля стабільності роботи системи це відбувається не відразу після досягнення встановленого значення температури, а через десять секунд.

Для забезпечення більшої надійності та зменшення кількості

неточностей у вимірюваннях реалізовано систему накопичувальних змінних: якщо за десять вимірів був зафіксований перетин встановленої межі або її недосягання і сума цих значень менше 17, реле вимикає нагрівальний елемент або вмикає, відповідно; накопичувальні змінні скидаються. Схожим чином реалізована система виявлення помилки зчитування показань температурного датчику: після десяти реєстрацій помилкових показань (-127 градусів) нагрівання зупиняється, накопичувальні змінні скидаються. Через використання такого методу, з'являється затримка в роботі пристрою, але для системи на цьому етапі розробки це не критично.

Вимірювання рівня електропровідності води здійснюється простими командами із бібліотеки:

```
gravityTds.setTemperature(temperature);
gravityTds.update();
tdsValue = gravityTds.getTdsValue();
Serial.print(tdsValue, 0);
```

Для роботи із запитами було імплементовано логіку обробки JSON файлів, а яких знаходяться усі оновлені налаштування. В залежності від отриманого повідомлення від клієнту виконуються необхідні внутрішні зміни системи, перевіряється стан датчиків:

Лістинг 3.3 – Обробка HTTP-запитів

```
server.on(RequestData::root, HTTP_GET,
  [] (AsyncWebServerRequest* response)
  {
    if (response->hasParam(RequestData::setTempetarure))
    {
      int newValue = response->getParam(
        RequestData::setTempetarure)->value().toInt();
      temperature = newValue;
    }
    if (response->hasParam(RequestData::getTempetarure))
    {
      int newValue = response->getParam(
```

```

        RequestData::getTempetarure)->value().toInt();
    }
    if (response->hasParam(RequestData::turnOnHeating))
    {
        int newValue = response->getParam(RequestData::)-
>value().toInt();
        heater_state = "Heater is ON";
    }
    if (response->hasParam(RequestData::setLevelOfWater))
    {
        int newValue = response->getParam(RequestData::)-
>value().toInt();

        if (newValue < currentWaterLevel) {
            pump_state = "Pump is ON";
        }
        else {
            pump_state = "Pump is OFF";
        }
    }
    if (response->hasParam(RequestData::turnOnPump))
    {
        pump_state = "Pump is ON";
    }
    if (response->hasParam(RequestData::turnOffPump))
    {
        pump_state = "Pump is OFF";
    }
    if (response->hasParam(RequestData::setPhRange))
    {
        int newValue = response->getParam(
            RequestData::setPhRange)->value().toInt();
        currentPh = newValue;
    }
    if (response->hasParam(RequestData::getPh))
    {
        int newValue = response->getParam(
            RequestData::getPh)->value().toInt();
        response = currentPh;
    }
    if (response-
>hasParam(RequestData::setTotalDissolvedSolidsRange))
    {
        int newValue = response->getParam(
            RequestData::setTotalDissolvedSolidsRange)-
>value().toInt();
        setTDS(newValue);
    }
    if (response->hasParam(RequestData::setLightSensorValue)) {
        int newValue = response->getParam(
            RequestData::setLightSensorValue)->value().toInt();
        setLightLevel(newValue);
    }

```

```
});
```

3.2 Розробка програмного застосунку для налаштування системи

Для реалізації програми з налаштуваннями через локальну мережу було обрано вбудовану бібліотеку `QNetworkAccessManager` в фреймворку Qt, підключення модуля для використання механізмів мета-об'єктної компіляції відбувається наступним чином у `qmake` файлі конфігурації проекту:

```
QT += core gui network
greaterThan(QT_MAJOR_VERSION, 4): QT += widgets
CONFIG += c++17
```

Цей комплексний модуль дає можливість працювати з усіма можливими HTTP-запитами, враховуючи особливості операційних систем та потреби. Було реалізовано простий `Application Programming Interface` з переліком усіх необхідних системі даних, константні строки якого описані у просторі імен. Також необхідний клас для мережевої взаємодії та методами які створюють абстракцію виклику для графічного інтерфейсу:

Лістинг 3.4 – Клас для роботи з мережею

```
class NetworkManager
{
private:
    QNetworkAccessManager* networkAccessManager;
public:
    NetworkManager();
    NetworkManager(NetworkManager&) = delete;
    NetworkManager(NetworkManager&&) = delete;
    ~NetworkManager();
    void adjustTemperature(double temperature);
    void getTemperature();
    void setWaterLevel(double level);
    void fillWithWater(double level);
    void flushWater(double level);
    void setPh(double from, double to);
    void getPh();
```

```

void setLightSchedule(double from, double to);
void setTDS(double value);
};

```

Головним функціоналом цього класу є взаємодія з об'єктом `QNetworkAccessManager`, форматування даних, приведення типів. Завдяки наявному широкому ряду вбудованих інструментів у фреймворку, немає необхідності самостійно програмувати більшість базового функціоналу. А також ми отримуємо достатній рівень абстракції для комфортної розробки. Приклад одного із методів для відправлення налаштувань:

```

void NetworkManager::adjustTemperature(double temperature)
{
    QString request = "http://" + NetworkConnection::name +
        ":" + QString::number(NetworkConnection::port)
        + RequestData::root +
        "?" + RequestData::setTempetarure +
        "=" + QString::number(temperature, 'd', 3);
    networkAccessManager->get(QNetworkRequest(QUrl(request)));
}

```

Для створення графічного інтерфейсу користувача було описано клас `MainWindow`, який містить усі дочірні вікна, надає їм стартові значення та звільняє ресурси. Використано кнопки, горизонтальні повзунки, текстові поля (рис. 3.2).

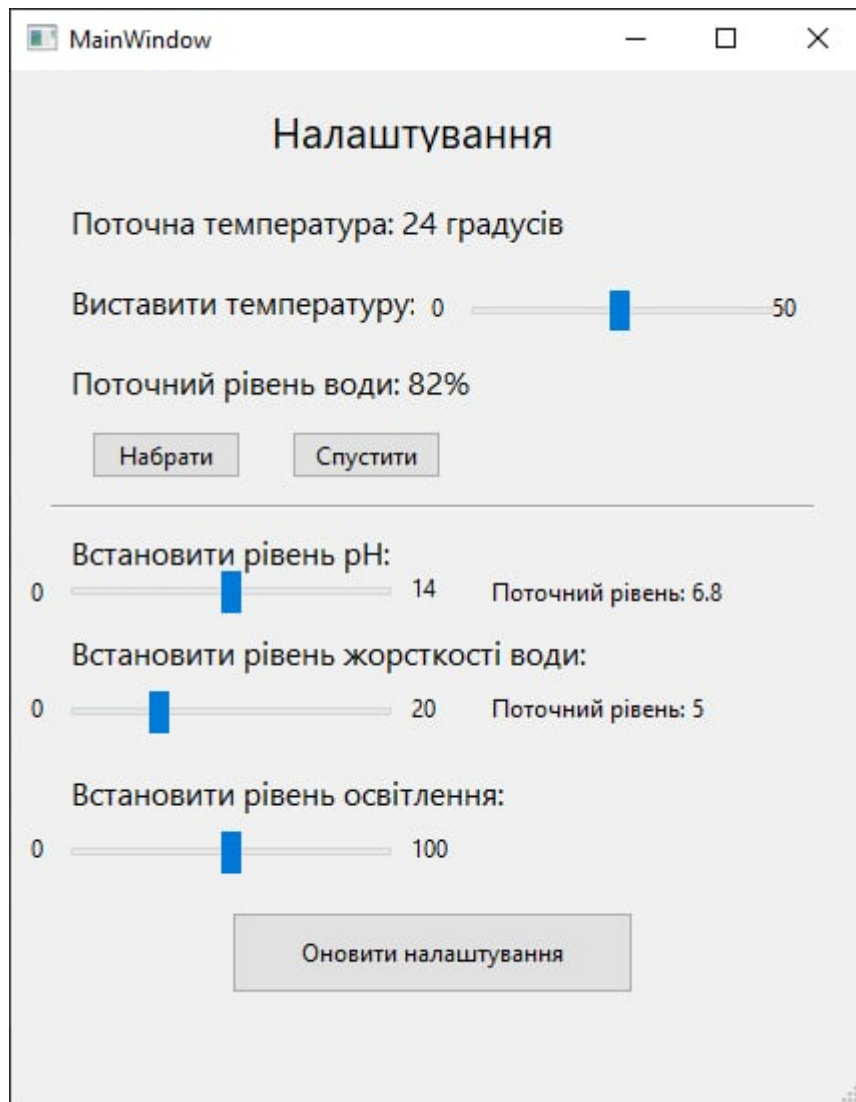


Рисунок 3.2 – Інтерфейс програми

Повний код програми міститься у додатку Б.

4 ТЕСТУВАННЯ

4.1 Постановка задач на тестування

Розроблена система (рис. 4.1) має бути якісно протестована в різних умовах та ситуаціях. Апаратна та програмна реалізації повинні відповідати початковим умовам задач.

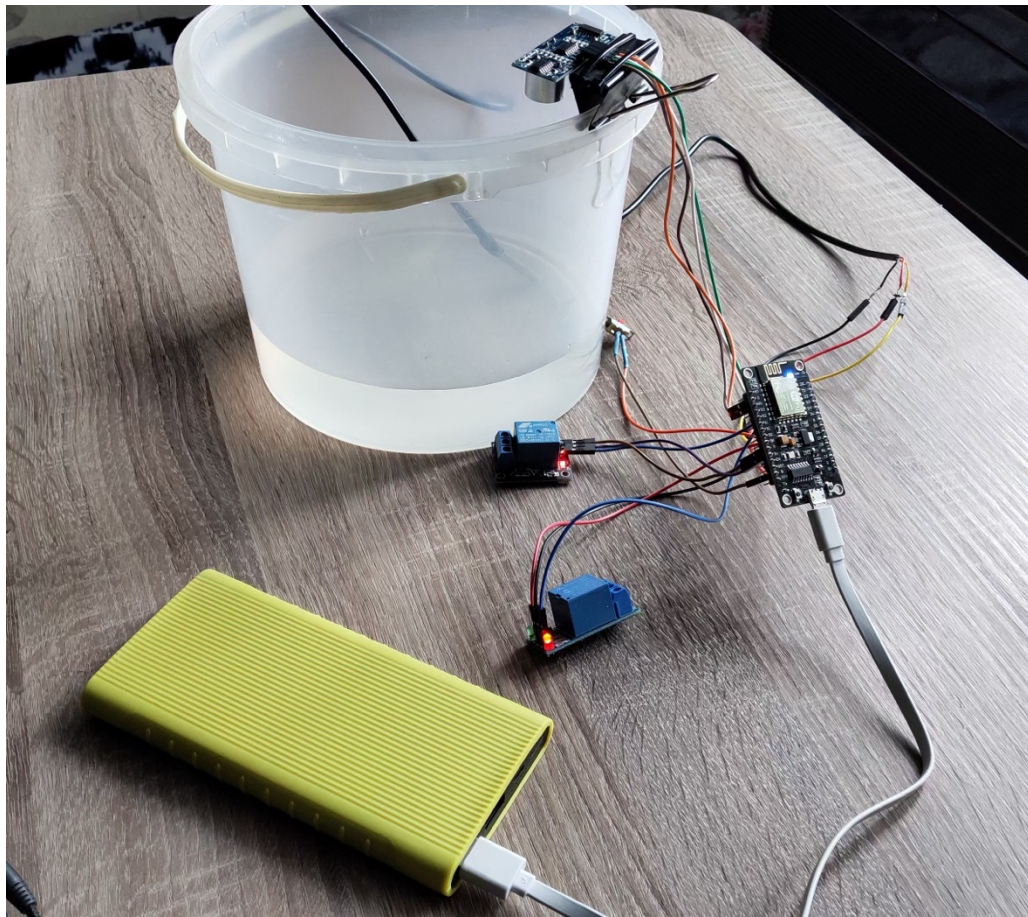


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд макету пристрою з датчиками відстані, температури та реле для насосу і нагрівача

Беручи до уваги вимоги мобільності пристрою, система має мати можливість живитися не тільки від комп'ютера.

Так як розроблена система є імітацією реального пристрою, то

необхідності тестування на великому масштабі немає. Показання з датчиків повинні відповідати реальності, помилка в декілька одиниць припустима.

Має бути протестовано:

- робота з водою;
- робота без води;
- робота з живленням від комп'ютера;
- робота з живленням від інших джерел енергії;
- надійність реле та перемикача;
- зміна рівню рН;
- зміна рівню жорсткості води.

4.2 Тестування

Перший тест (рис 4.2) проводився без води для перевірки роботи датчиків в нестандартних умовах. Датчик температури знаходився в прямому доступі до повітря, датчик відстані вільно напрямлявся на різні предмети. Показання датчика температури через декілька хвилин, що пішли на балансування температури самого датчика, відповідали значенням механічного термометра у приміщенні. Показання датчика відстані при наведені на предмети більше ніж долоня під прямим кутом були достовірними. При відхилені від нормалі більше ніж на 15 градусів, при наведені датчика на предмети з нечіткою поверхнею (напр., хутряна шуба), на предмети розміром менше долоні, датчик починав надавати помилкові показання. Запуски реле виконувались згідно заданих умов.

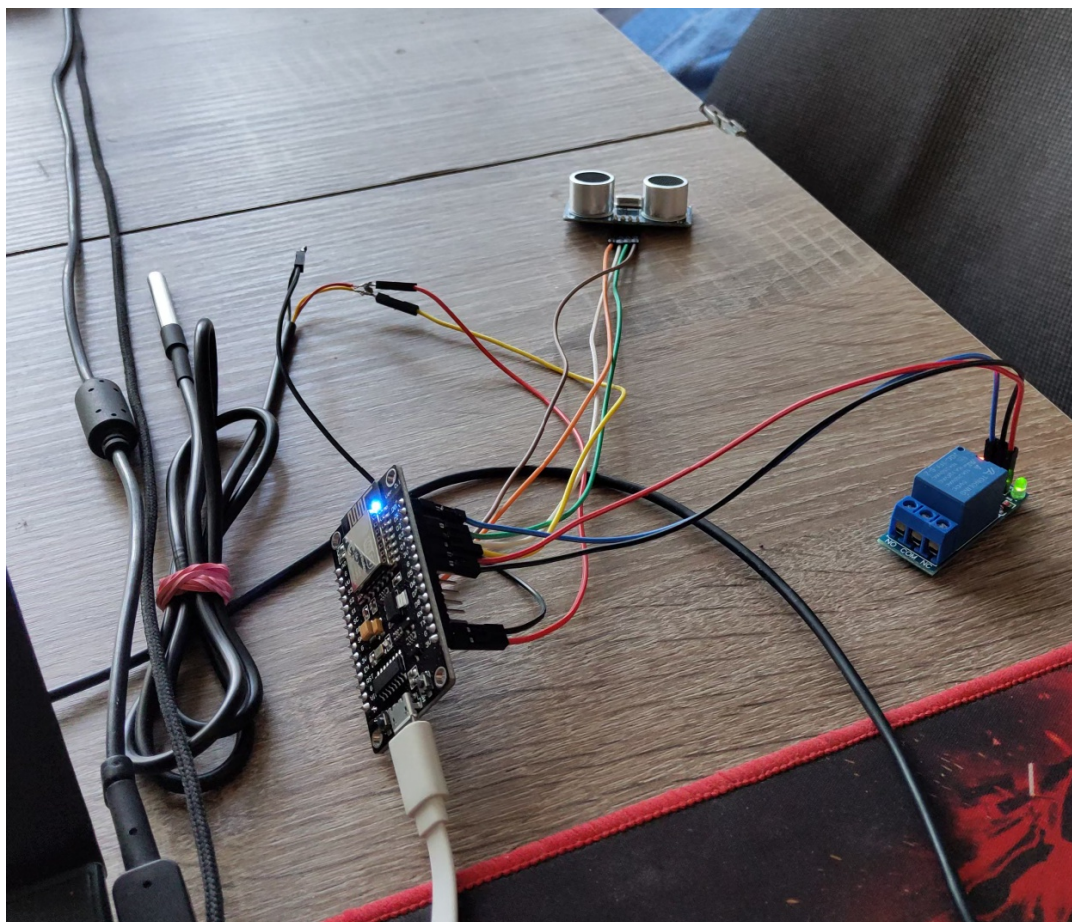


Рисунок 4.2 – Тестування без води

Другий тест (рис. 4.3) проводився з ємністю об'ємом 5 л з водою на різних рівнях. Датчик температури знаходився в резервуарі з водою, датчик відстані було закріплено над резервуаром в напрямку перпендикулярному поверхні води. Показання датчика температури через декілька хвилин, що пішли на балансування температури самого датчика, відповідали значенням іншого цифрового термометра з відхиленнями менше 0,5 градуса. Показання датчика відстані мали відхилення менше 2 см. Запуски реле виконувались згідно заданих умов.

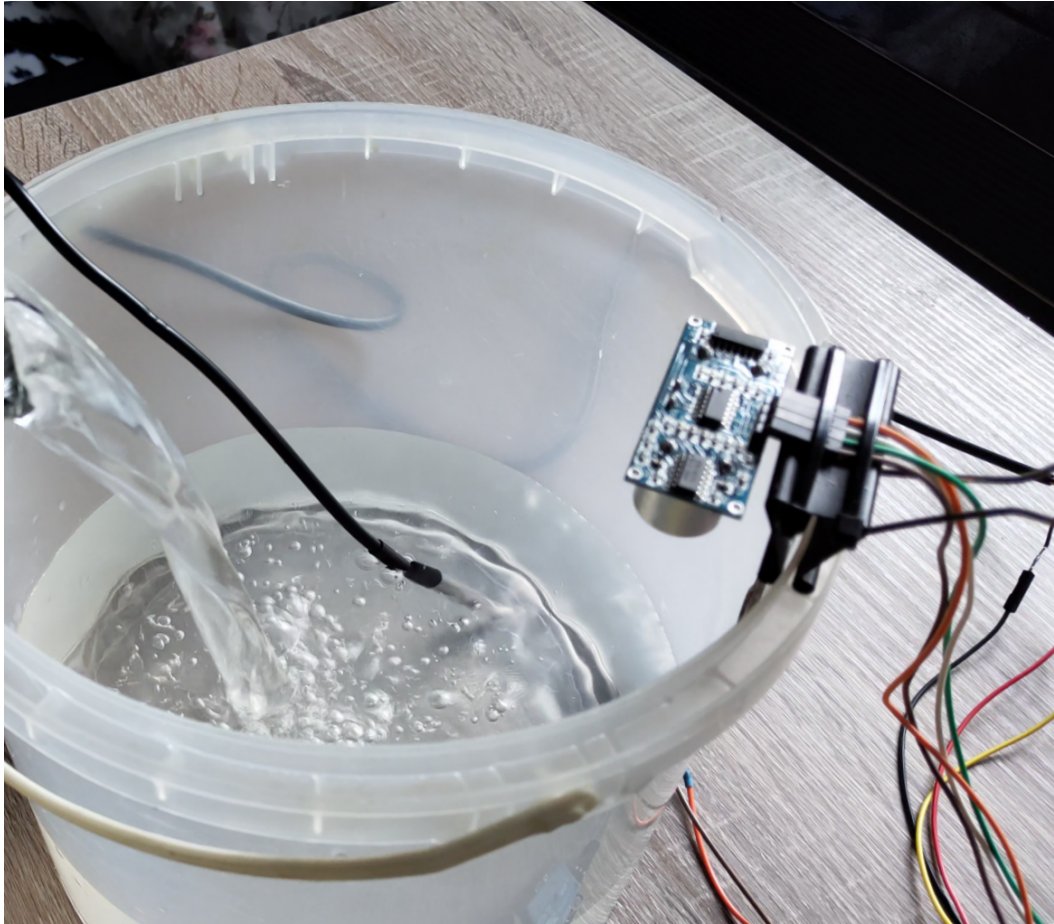


Рисунок 4.3 – Тестування з водою

Разом з першими двома тестами було проведено перевірку режиму відлагодження (рис. 4.4). Для запуску використано моніторинг порту Arduino IDE. Як і задумано, режим дозволяє отримувати більше даних з пристрою та проміжні показання датчиків.

```

sketch_may07f | Arduino 1.8.13 | COM3
Файл Правка Скетч Инструменты
sketch_may07f
cumulative_temp_
Serial.println("
print_temp_stats
}
else
{
cumulative_temp_
00:27:09.996 ->
00:27:10.600 -> Temperature: 25.69C
Serial.println("
print_temp_stats
00:27:10.600 -> - Button pushed 0
}
 Автопрокрутка  Показывать отметки времени CR (Возврат каретки) 9600 бод Очистить

// сброс всех накопителей, если 10 низких/достаточных значений собираются слишком долго
if (cumulative_temp_ok + cumulative_temp_low > CUMULATIVE_COUNT * 1.7)
{
cumulative_temp_rst();

Serial.println("unstable temp readings; var-s reset");
}

```

ESP8266 MCU 1.0 (ESP-12E Module), 80 MHz, Flash, Legacy (new can return nullptr), All SSL ciphers (most compatible), 4MB (FS: 2MB OTA~1019KB), 2, v2 Lower Memory, Disabled, None, Only Sketch, 115200 на COM3

Рисунок 4.4 – Тестування режиму відлагодження

Під час тестування пристрій було заживлено від комп'ютера та ручного акумулятору (Powerbank). Помилку у роботі пристрою не помічено. Другий тест зайняв три години, система відпрацювала без помилок та збоїв.

Третій тест направлено на випробування системи балансування рівню рН за допомогою засобу «рН+». В перший день тесту було пересунуто повзунок налаштування зі значення 7 на значення 8, система відреагувала на це додаванням у воду однієї дози засобу «рН+». Поточний рівень рН до зміни дорівнював 6,8 і, впродовж доби, плавно виріс до 8 (рис. 4.5).

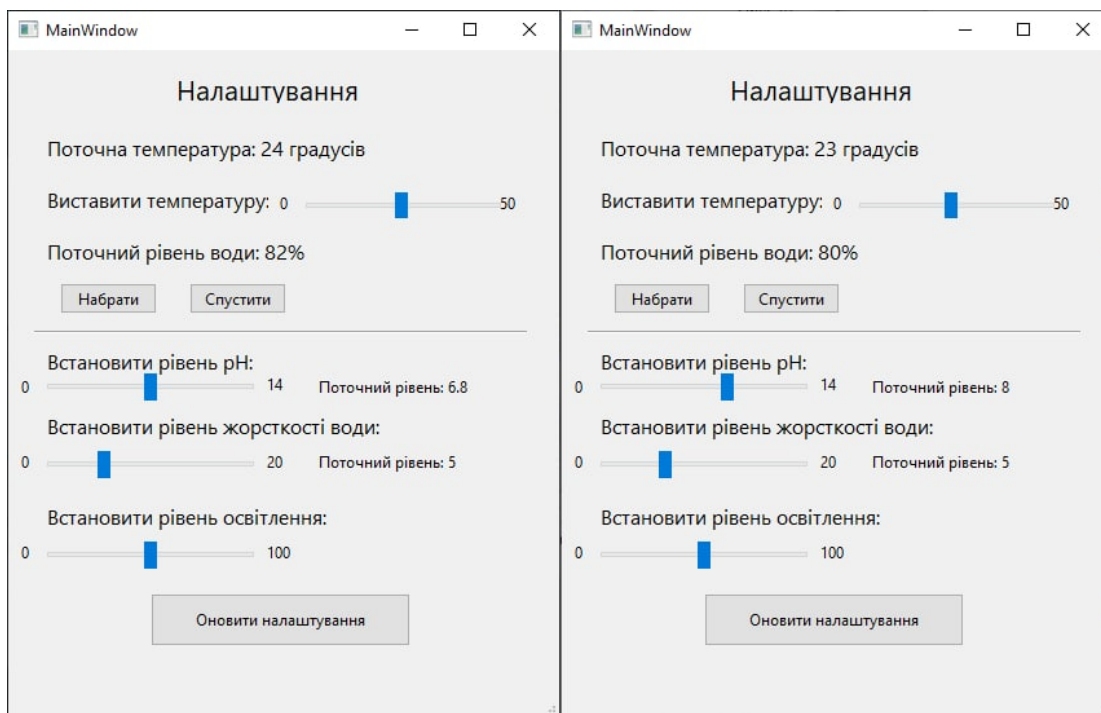


Рисунок 4.5 – Порівняння показників рН. Різниця часу – 24 години

Під час четвертого тесту перевіряється здібність системи реагувати на зміну рівня жорсткості води додаванням засобу жорсткості «кН-» на основі кислоти. В перший день за допомогою повзунка налаштування було задане нове очікуване значення, 3 замість 5. Система реагує запуском сервомотору який подає дозу рідини «кН-». На наступний день поточний рівень жорсткості дорівнює 3,2 (рис. 4.6).

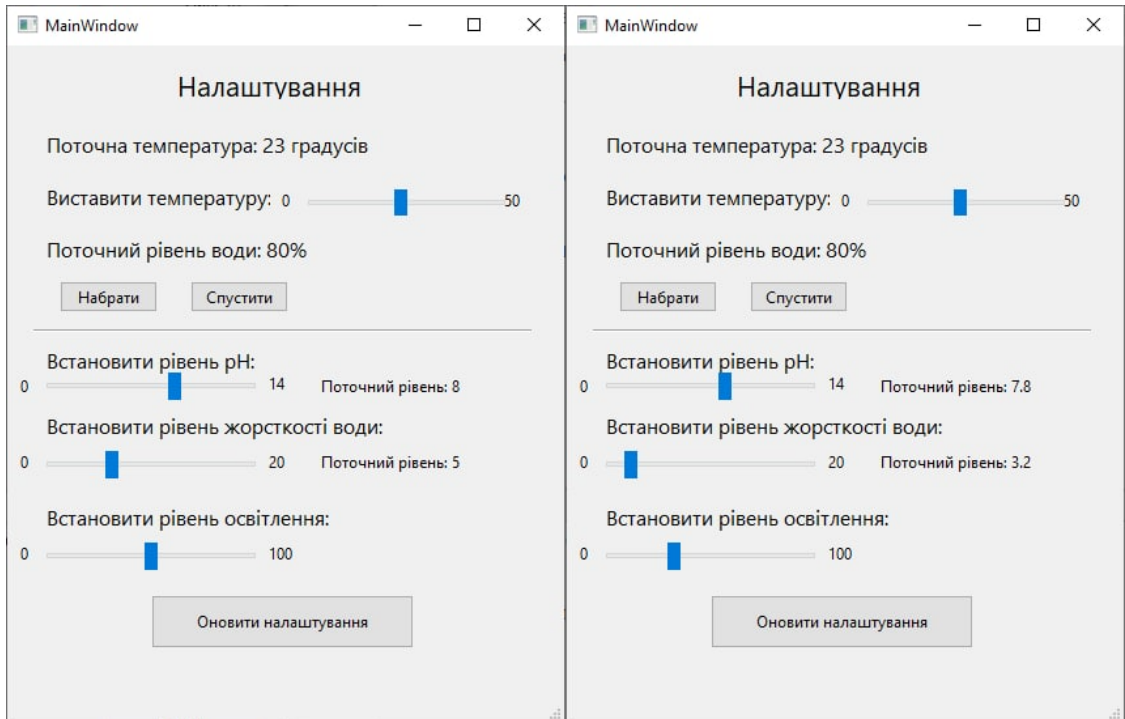


Рисунок 4.6 – Порівняння показників жорсткості води. Різниця часу – 24 години

ВИСНОВКИ

Розроблено мікроконтролерну систему моніторингу та управління станом водного середовища на основі апаратної моделі з використанням Arduino IDE та програмний застосунок, що спрямована на більшу гнучкість конфігурації й забезпечує підвищення якості моніторингу та адаптивного контролю екологічної рівноваги в закритому водному середовищі. Були проаналізовані основні характеристики водного середовища, їх вплив один на одного та на водні організми, розглянуті та порівняні аналогічні дослідні роботи, готові пристрої, що присутні на ринку.

Під час виконання роботи були поставлені та виконані такі завдання:

- виконано аналіз залежностей компонентів водного середовища;
- виконано аналіз IoT систем контролю водного середовища;
- розроблено систему управління екологічним станом у водному середовищі, додаток для ПК до неї на основі мови програмування C++ та технології Qt.

Сьогодні з'являється багато платформ з різними цілями та можливостями, але всі вони страждають від однієї вади: програмне та апаратне забезпечення настільки тісно інтегровані, що в більшості випадків користувач не має свободи у використанні продукту, або йому потрібно «хакнути» систему. Розроблена система надає користувачеві більшу гнучкість у конфігурації. Визначено можливості широкого застосування подібних мікроконтролерних систем для різних задач, пов'язаних із підтримкою екологічного стану закритого водного середовища, використання модульності рішень. Вже створені і досліджувані пристрої можуть бути використанні у промисловості, бізнесі та побуті. З розвитком цього напрямку системи мають стати більш комплексними функціонально та простішими використанні, що збільшить їхню затребуваність.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Taufik Ibnu Salim, Triya Haiyunnisa, Hilman Syaeful Alam, “Design and Implementation of Water Quality Monitoring for Eel Fish Aquaculture“, 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 2016
2. Monira Mukta, Samia Islam, Surajit Das Barman, Ahmed Wasif Reza, “IoT based Smart Water Quality Monitoring System”, 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems, 2019
3. Mehboob Hasan Rohit, Zarin TarannumHoque, S M Mujibul Karim, Dr.Shahnewaz Siddique, “Cost Effiecient AutomatedPisciculture Assistance System Using Internet of Things(IoT)” IEEE, DOI: 10.1109/SERP4IoT.2019.00015, Bangladesh, 2019
4. A. Zaini, A. Kurniawan, A. D. Herdhiyanto, “Internet of Things for Monitoring and Controlling Nutrient Film Technique (NFT) Aquaponic” IEEE, DOI: 10.1109/CENIM.2018.8711304, Indonesia, May 2019
5. Yinchi Ma, Wen Ding (2013) Design and Implementation of Aquarium Remote Automation Monitoring and Control System. 7th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA)
6. NodeMCU ESP8266 [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: [www / URL: https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet](http://www.components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet)
7. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 (CH340) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL: https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266](http://www.arduino.ua/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266).
8. IoT Based Water Level Indicator Using Ultrasonic Sensor [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: [www / URL: https://www.iotdesignpro.com/projects/iot-based-water-level-indicator-using-ultrasonic-sensor](https://www.iotdesignpro.com/projects/iot-based-water-level-indicator-using-ultrasonic-sensor)

9. gabriellallevine. Make a Pushbutton Without a Resistor [Электронный ресурс] / gabriellallevine – Режим доступа: www / URL: <https://www.instructables.com/Make-a-pushbutton-without-a-resistor/>

10. About Qt [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://wiki.qt.io/About_Qt.