

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Чорноморський національний університет**

**імені Петра Могили**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра комп'ютерної інженерії**

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ І. М. Журавська

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Організація дистанційної передачі даних щодо  
якості води в системі централізованого  
водопостачання**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.01 – 405.22010524

*Студент*

\_\_\_\_\_ А. І. Шевчук  
*підпис*

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

*Керівник д-р техн. наук, проф.*

\_\_\_\_\_ І. М. Журавська  
*підпис*

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Миколаїв – 2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра комп'ютерної інженерії**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ І. М. Журавська

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи**

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук

Шевчук Артем Іванович

*(прізвище, ім'я, по батькові студента)*

1. Тема кваліфікаційної роботи

Організація дистанційної передачі даних щодо якості води в системі централізованого водопостачання

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 30.01.2024 № 17.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

система дистанційної передачі даних щодо якості води в системі централізованого водопостачання

4. Перелік питань, що підлягають розробці

– аналіз існуючих методів та засобів контролю якості води в системах централізованого водопостачання;

– обґрунтування необхідності впровадження системи дистанційної передачі даних про якість води;

– проектування та розробка апаратної та програмної частини системи дистанційної передачі даних;

– тестування розробленої системи та аналіз отриманих результати;

– оцінка ефективності впровадження розробленої системи.

5. Перелік графічних матеріалів: презентація.

6. Завдання до спеціальної частини:

Дослідити основні нормативи і стандарти якості води, дослідження стандартів охорони праці у сфері централізованого водопостачання та огляд заходів щодо мінімізації впливу шкідливих виробничих факторів.

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Макарова О. В.	кафедра екології Медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи

д-р техн. наук, проф. Журавська Ірина Миколаївна

*(посада, прізвище, ім'я, по батькові)*

\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

Завдання прийнято до виконання

Шевчук Артем Іванович

*(прізвище, ім'я, по батькові студента)*

\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**  
**виконання кваліфікаційної роботи**

Тема: Організація дистанційної передачі даних щодо якості води в системі централізованого водопостачання

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КБР	12.01.2024	20.01.2024	Виконав
2	Огляд літератури за темою роботи	25.01.2024	12.02.2024	Виконав
3	Складання календарного плану КБР	18.02.2024	21.02.2024	Виконав
4	Аналіз предметної області	22.02.2024	15.03.2024	Виконав
5	Розробка проєктних рішень	17.03.2024	02.04.2024	Виконав
6	Моделювання та конструювання АПЗ	03.04.2024	27.04.2024	Виконав
7	Перевірка працездатності, тестування розробленого АПЗ, аналіз результатів тестування	28.04.2024	13.05.2024	Виконав
8	Оформлення КБР та презентації	14.05.2024	05.06.2024	Виконав
9	Перший попередній захист	29.05.2024	29.05.2024	Виконав
10	Другий попередній захист	06.06.2024	06.06.2024	Виконав
11	Завершення оформлення КБР та презентації	06.06.2024	08.06.2024	Виконав
12	Відгук керівника КБР	08.06.2024	09.06.2024	Виконав
13	Рецензування	10.06.2024	11.06.2024	Виконав
14	Захист кваліфікаційної бакалаврської роботи	.06.2024	.06.2024	Виконав

Розробив здобувач ВО Шевчук Артем Іванович  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник роботи д-р техн. наук, проф. Журавська Ірина Миколаївна  
(посада, прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи  
«Організація дистанційної передачі даних щодо якості води в системі  
централізованого водопостачання»

Студент 405 гр.: Шевчук Артем Іванович

Керівник: д-р техн. наук, проф. Журавська Ірина Миколаївна

У даній роботі було розроблено систему для організації дистанційної передачі даних щодо якості води в системі централізованого водопостачання.

Актуальність цієї розробки зумовлена необхідністю забезпечення якісної води для населення, збереженням інфраструктури та запобіганням економічним втратам.

Об'єктом дослідження є процес дистанційної передачі даних про якість води шляхом створення апаратно-програмного комплексу. Предметом дослідження є апаратно-програмний комплекс для передачі даних про якість води в системі централізованого водопостачання.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є підвищення ефективності роботи централізованої системи водопостачання шляхом розробки апаратно-програмного забезпечення для дистанційної передачі даних про якість води, що дозволить своєчасно виявляти відхилення від норм.

У результаті написання кваліфікаційної бакалаврської роботи було розроблено апаратно-програмне забезпечення для дистанційного моніторингу якості води в системі централізованого водопостачання. Практична значимість полягає у впровадженні розробленої системи, що дозволить покращити ефективність контролю якості води, знизити витрати на обслуговування та підвищити безпеку водопостачання.

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків та двох додатків. У вступі визначено актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження. У першому розділі проведено детальний аналіз існуючих методів та технологій контролю якості води, на основі чого сформовано вимоги до системи. У другому розділі описано вибір оптимальних компонентів та технологій, розроблено функціональну схему та алгоритм роботи системи. У третьому розділі розроблено архітектуру апаратно-програмного забезпечення та проведено тестування системи, що підтвердило її ефективність і надійність. У висновках наведено аналіз проведеної роботи та отриманих результатів.

Кваліфікаційна робота складається з 75 сторінок (без додатків), містить 7 таблиць, 52 рисунки, 2 додатки. Використано 31 джерело посилання.

**Ключові слова:** *ESP8266, TDS, дистанційний моніторинг, якість води, контроль якості води, дистанційна передача даних.*

## **ABSTRACT**

of the Bachelor's Thesis

"Organization of remote data transmission on water quality  
in the centralized water supply system"

Student: Shevchuk Artem

Supervisor: Doctor of Technical Sciences, Professor Zhuravska Iryna

In this work, a system was developed for organizing the remote transmission of data on water quality in a centralized water supply system.

The relevance of this development is due to the need to ensure high-quality water for the population, preserve infrastructure, and prevent economic losses.

The object of the study is the process of remote transmission of water quality data through the creation of a hardware and software complex. The subject of the study is the hardware and software complex for transmitting water quality data in a centralized water supply system.

The goal of the bachelor's thesis is to increase the efficiency of the centralized water supply system by developing hardware and software for remote transmission of water quality data, which will allow timely detection of deviations from the norms.

The result of the bachelor's thesis is the developed hardware and software for remote monitoring of water quality in the centralized water supply system. The practical significance lies in the implementation of the developed system, which will improve the efficiency of water quality control, reduce maintenance costs, and increase the safety of water supply.

The explanatory note of the bachelor's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, and two appendices. The introduction defines the relevance of the topic, formulates the goal, object, subject, and tasks of the research. The first chapter provides a detailed analysis of existing methods and technologies of water quality control, based on which the requirements for the system were formed. The second chapter describes the selection of optimal components and technologies, develops the functional scheme and algorithm of the system. The third section is devoted to the development of the hardware and software architecture and system testing, which confirms its effectiveness and reliability. The conclusion provides an analysis of the work performed and the results of the research.

The bachelor's thesis consists of 75 pages (without appendices), contains 7 tables, 52 figures, 31 references and 2 appendices.

**Keywords:** *ESP8266, TDS, remote monitoring, water quality, water quality control, remote data transmission.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП .....	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	6
1.1 Огляд методів контролю якості води .....	7
1.2 Огляд технологій в області дистанційного моніторингу якості води 13	
1.3 Аналіз існуючих рішень .....	20
1.4 Формування вимог до АПЗ .....	24
Висновки до розділу 1 .....	25
2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ..	27
2.1 Вибір необхідних технологій та компонентів .....	27
2.2 Розробка функціональної схеми .....	40
2.3 Розробка алгоритму роботи АПЗ.....	41
Висновки до розділу 2 .....	44
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ.....	46
3.1 Розробка архітектури АПЗ .....	46
3.2 Тестування .....	62
3.3 Оцінка ефективності та можливості подальшого вдосконалення системи .....	68
Висновки до розділу 3 .....	69
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	72
ДОДАТОК А Довідка про перевірку на унікальність пояснювальної записки .....	76
ДОДАТОК Б Лістинг програми для системи дистанційного моніторингу якості води .....	77

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

- АПЗ – апаратно-програмне забезпечення  
ДСТУ – Державний стандарт України  
ІЗВ – індекс забруднення води  
ПЗ – програмне забезпечення  
ПК – персональний комп'ютер
- 3D – 3-dimensional  
GPIO – General Purpose Input/Output  
IDE – Integrated Development Environment  
IoT – Internet of Things  
IR – Infrared  
SDIO – Secure Digital Input/Outputs  
TDS – Total Dissolved Solids  
VIN – Voltage Input



## ВСТУП

Наразі через ракетні обстріли виникає багато руйнувань інфраструктури, зокрема й систем централізованого водопостачання. Вже два роки у Миколаєві немає питної води у водопровідній системі, а лише технічна, якість якої на низькому рівні. Через це руйнуються магістральні трубопроводи та швидко виходить з ладу побутова техніка. Тому контроль якості води сьогодні є актуальним, адже це прямо впливає на функціонування суспільства та економіки. Він є критично важливим для підтримки здоров'я населення, забезпечення санітарних умов, а також для промислових і сільськогосподарських потреб.

Зважаючи на рівень розвитку технологій сьогодення, неможливо уявити систему контролю якості води без її інтеграції з Internet of Things (IoT). Такі системи дозволяють здійснювати постійний моніторинг змін якості води, що є надзвичайно важливим.

Актуальність цієї теми зумовлена не тільки необхідністю забезпечення якісної води для населення, але й збереженням інфраструктури та запобіганням економічним втратам. Практичне значення полягає в розробці та впровадженні ефективної системи для моніторингу та дистанційної передачі даних щодо якості води у водопроводі.

**Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи** є підвищення ефективності роботи централізованої системи водопостачання шляхом розробки апаратно-програмного забезпечення для дистанційної передачі даних про якість води, що дозволить своєчасно виявляти відхилення від норм. Для досягнення визначеної мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати існуючі методи та засоби контролю якості води в системах централізованого водопостачання;
- обґрунтувати необхідність впровадження системи дистанційної передачі даних про якість води;

- спроектувати та розробити апаратну та програмну частини системи дистанційної передачі даних;
- провести тестування розробленої системи та проаналізувати отримані результати;
- оцінити ефективність впровадження розробленої системи.

**Об'єктом дослідження** є процес дистанційної передачі даних про якість води шляхом створення апаратно-програмного комплексу.

**Предметом дослідження** є апаратно-програмний комплекс для передачі даних про якість води в системі централізованого водопостачання.

**Необхідність розробки** апаратно-програмного забезпечення для дистанційної передачі даних про якість води полягає у відсутності на ринку універсальних економічно ефективних рішень. Існуючі рішення для побутового використання обмежені в функціональності та не є бюджетними, що важливо для домашнього використання.

**Основні проєктні рішення** включають інтеграцію датчика та мікроконтролера через бездротовий протокол зв'язку. Завдяки цьому досягається зниження загальної вартості, забезпечується широкий функціонал та можливість подальшого масштабування системи.

**Сферою застосування** результатів кваліфікаційної роботи є система централізованого водопостачання. У межах якої розроблене апаратно-програмне забезпечення буде використовуватись для моніторингу показників якості води.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Водопостачання – це заходи, які спрямовані на забезпечення споживачів водою. Споживачами є населення, підприємства, поливальне та протипожежне устаткування, станції технічного обслуговування машин [1]. І однією з головних вимог до систем водопостачання є забезпечення якості води згідно з нормами, при яких захищається здоров'я людей і створюються потрібні умови для водоспоживання.

Тому в теперішніх умовах необхідно контролювати показники якості передусім питної води задля безпеки людей, з метою охорони їхнього здоров'я.

Існує два основних види джерел централізованого водопостачання [4]:

а) поверхневі води – це будь-яка прісна вода, що знаходиться на поверхні Землі в річках, озерах, струмках і болотах;

б) підземні води – розташовані під поверхнею Землі в аквіферах, які можуть бути добуті за допомогою колодязів або насосів. Схема залягання підземних вод представлена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема залягання підземних вод

Якість поверхневих вод часто погіршується через антропогенні забруднення, що вимагає значної очистки перед використанням. У той час, підземні води зазвичай чистіші, оскільки ґрунт і породи діють як природний

фільтр. Доступність поверхневих вод легша, але їх якість може суттєво змінюватися залежно від сезону. Підземні води вимагають складного і дорогого добування, проте вони стабільніші під час посухи. Поверхневі води є основним джерелом для міського та селищного водопостачання, тоді як підземні води використовуються переважно в сільських районах та для комунального водопостачання в містах з менш забрудненими поверхневими водами.

Якість води контролюють за допомогою індексу забруднення води (ІЗВ), він слугує основним показником для оцінки стану водних об'єктів на основі комбінації фізичних, хімічних та біологічних властивостей. Він спрощує оцінку якості води як композитний показник. Втім існують інші фактори, за допомогою яких можна більш точно визначити стан води, наприклад розчинений кисень, каламутність, температура, рівні поживних речовин, важкі метали чи забруднювачі та бактерії кишкової групи.

Зараз для оцінки якості води використовують моделі машинного навчання які допомагають у виявленні тимчасових закономірностей та прогнозуванні індексу якості води на основі виявлених ознак [2].

## **1.1 Огляд методів контролю якості води**

Моніторинг якості води є вкрай важливим для безпеки водних ресурсів та довкілля. Для цього використовуються різноманітні датчики та прилади, які дозволяють аналізувати ключові параметри води. Вони відіграють критичну роль у контролі чистоти води для питних потреб, промислового використання, сільського господарства, а також у моніторингу стану водойм та запобіганні забрудненню. Для оцінки якості води існує багато показників, класифікація яких наведена на рис. 1.2.

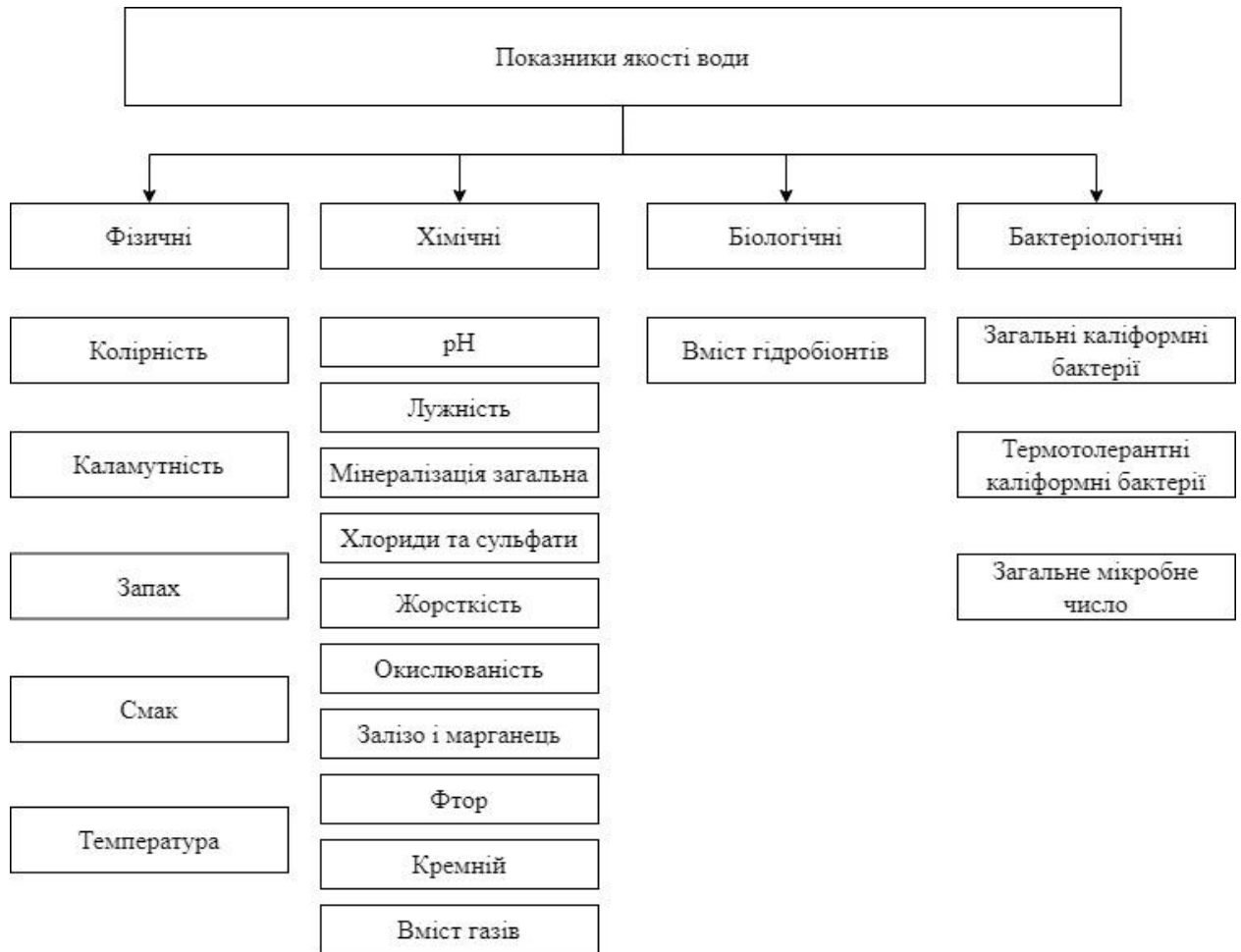


Рисунок 1.2 – Класифікація показників якості води

Норми деяких показників якості питної води в Україні згідно ДСТУ 7525:2014 представлені в табл. 1.1 [5].

Таблиця 1.1 – Нормативи хімічних показників якості питної води в Україні

Показник	Норма
Водневий показник, рН	6.5000–8.5000
Мінералізація загальна, мг/дм <sup>3</sup>	1000–1500
Жорсткість загальна, ммоль/дм <sup>3</sup>	7–10
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	250–500
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	250–350
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0.2000–1.0000
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0.0500–0.5000
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	1

Показник	Норма
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	200
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0.1000
Фенолилеткі, мг/дм <sup>3</sup>	0.0010
Хлорфеноли, мг/дм <sup>3</sup>	0.0003

Питна вода повинна бути безпечною для споживання, забезпечуючи збереження здоров'я людей. Тому її якісні показники мають відповідати нормам, зазначеним у табл. 1.1.

### 1.1.1 Види приладів для аналізу якості води

Для вимірювання якості води використовують різноманітні прилади, такі як **TDS-метри**, рН-метри та інші. Вони контролюють температуру води, електропровідність, розчинений кисень, каламутність та рівень токсичних хімікатів.

TDS-метри вимірюють загальну концентрацію розчинених у воді твердих речовин та працює на основі вимірювання електропровідності води. Провідність вимірюється в одиницях PPM (частин на мільйон).

Чиста вода або дистильована вода не проводить електричний струм, тому якщо TDS-метр занурити у повністю дистильовану воду, результат буде «0» або дуже низьке число, якщо у воді присутні сліди мінералів. Тобто вода з більшим вмістом мінералів краще проводить електрику, ніж вода без мінералів.

Але він не визначає наявності забруднюючих речовин або те, чи вода безпечна для здоров'я. Низький показник TDS може бути спричинений відсутністю мінералів, але можуть бути небезпечні речовини, на які метр не реагує [6]. Приклад TDS-метру наведено на рис. 1.3 [7].



Рисунок 1.3 – TDS-метр COM 100 EC

Для вимірювання водневого показника використовують **pH-метр**. Промислові pH-метри широко застосовуються у різних галузях, таких як хімія, харчова промисловість, медицина, металургія та целюлозно-паперова промисловість. Раніше для перевірки кислотності чи лужності розчину використовувався лакмусовий папірець, але він не міг показати точне значення.

pH-метр – це науковий прилад, який вимірює активність іонів водню у водних розчинах, визначаючи їх кислотність або лужність у вигляді показника pH. Прилад вимірює різницю електричного потенціалу між pH-електродом та електродом порівняння, тому його інколи називають «потенціометричним pH-метром». Ця різниця електричного потенціалу відповідає кислотності або рівню водню у розчині [8].

Лабораторні pH-метри використовують скляний електрод і зазвичай мають високу точність. Ідеально підходять для лабораторного аналізу, де потрібна висока точність вимірювань. Зображення лабораторного pH-метру продемонстровано на рис. 1.4 [9].



Рисунок 1.4 – Лабораторний рН-метр HORIBA LAQUA-PH1500-SR

Портативні рН-метри менші і зручні для переносу. Часто використовуються для польових досліджень або швидких вимірювань на місці. Можуть мати нижчу точність порівняно з лабораторними моделями.

**Датчик розчиненого кисню** може бути використаний для проведення широкого спектру дослідів для визначення змін рівня розчиненого кисню. Існують два основні типи таких датчиків [10]:

а) полярографічні датчики – містять катод і анод, занурені в електроліт. Кисень дифундує через напівпроникну мембрану і відновлюється на катоді, генеруючи струм, пропорційний концентрації кисню;

б) оптичні датчики – використовують люмінесцентний матеріал, який гаситься розчиненим киснем. Датчик вимірює зменшення інтенсивності люмінесценції, пропорційне концентрації кисню. Приклад оптичних датчиків розчиненого кисню зображено на рис. 1.5 [11].





Рисунок 1.5 – Оптичні датчики розчиненого кисню DO 71/DO 72

Датчики розчиненого кисню мають різні конфігурації для різних застосувань. Наприклад, для екологічного моніторингу вод (у річках, озерах, океанах), фармацевтичного виробництва (для оптимізації мікробного росту, ферментації).

Також існують **турбідиметри**, які слугують для аналізу каламутності води. Турбідиметри працюють на основі вимірювання розсіяного світла, коли падаюче світло проходить через водне середовище з завислими частинками. Наявність цих частинок у воді призводить до розсіювання падаючого світла.

Існують два основні типи турбідиметрів [12]:

а) абсорбціометри – вимірюють поглинання (або послаблення) інтенсивності світла, що проходить через зразок;

б) нефелометри – вимірюють частину світла, розсіяну під кутом  $90^\circ$  до падаючого променя. Приклад такого типу турбідиметра представлено на рис. 1.6 [13].



Рисунок 1.6 – Турбідиметр нефелометричний EUTECH TN 100

Турбідиметри забезпечують надзвичайно важливі дані для відстеження впливу забруднювачів, ерозії ґрунтів, змивів та інших факторів, які можуть негативно позначитися на якості води та здоров'ї водних екосистем.

Усі проаналізовані прилади забезпечують цінні дані для моніторингу якості води, виявлення забруднення та відстеження впливу на водні екосистеми. Комплексний підхід з використанням різних приладів є надзвичайно важливим для всебічної оцінки стану водного середовища.

## **1.2 Огляд технологій в області дистанційного моніторингу якості води**

Традиційні методи контролю якості води, які включають збір проб та лабораторні аналізи, є повільними і трудомісткими, що може призводити до затримок у виявленні проблем та реагуванні на них. Це може бути проблематично, оскільки умови можуть змінитися до того, як будуть отримані результати аналізів.

Дистанційний моніторинг якості води пропонує рішення для цих проблем, забезпечуючи майже реальний час отримання даних. Сучасні компактні та енергоефективні пристрої використовують інтелектуальні

сенсори, які можуть контролювати декілька параметрів одночасно. Це дозволяє швидко виявляти проблеми та реагувати на зміни середовища.

Завдяки розвитку стільникових технологій, тепер можливе отримання даних навіть без наявності інфраструктури АМІ.

АМІ (Advanced Metering Infrastructure) – це система технологій і процесів, яка включає в себе складну мережу з лічильників, комунікаційних модулів, концентраторів даних і центральної системи управління даними. Ця інфраструктура дозволяє автоматично зчитувати і передавати дані з лічильників до центральної системи для обробки. Принцип роботи АМІ, який забезпечує автоматизований, точний і своєчасний збір і обробку даних про споживання різних ресурсів [15]:

- смарт-лічильники зчитують і зберігають дані про споживання ресурсів, таких як вода, електрика чи газ;
- дані передаються через комунікаційні модулі до концентраторів даних або центральної системи управління даними (англ. Master Data Management, MDM);
- концентратори збирають дані з кількох лічильників, обробляють і тимчасово зберігають їх перед передачею до MDM;
- центральна система MDM приймає, обробляє, зберігає та аналізує ці дані, забезпечуючи управління споживанням, генерацію звітів, виявлення аномалій та підтримку систем.

Наприклад, компанія Badger Meter [14] використовує національні стільникові мережі для передачі даних з сенсорів, що спрощує початок дистанційного моніторингу навіть для тих підприємств, які не мають інших пристроїв з підтримкою стільникового зв'язку.

Дистанційний моніторинг якості води забезпечує оперативне отримання даних про якість води, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни, а не чекати на результати лабораторних аналізів. Це також сприяє підвищенню безпеки даних та їх доступності, оскільки дані передаються через захищені стільникові

мережі і можуть бути інтегровані в існуючі SCADA системи. Крім того, хмарні рішення забезпечують високий рівень кібербезпеки та можливість аналізу даних за допомогою різноманітних програмних інструментів [14].

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це система управління, яка використовується для моніторингу і контролю промислових процесів та інфраструктурних об'єктів. SCADA системи широко застосовуються в різних галузях, включаючи енергетику, водопостачання, нафтову та газову промисловість, виробництво та транспорт.

Основні принципи роботи системи SCADA [16]:

– програмовані логічні контролери (англ. Programmable Logic Controller, PLC) та дистанційні термінальні пристрої (англ. Remote Terminal Unit, RTU) збирають дані з різних датчиків і обладнання, які вимірюють параметри, такі як тиск, температура, рівень і витрата.

– дані передаються через комунікаційну мережу до центральної SCADA-системи. Комунікаційна мережа може включати дротові та бездротові канали зв'язку, стільникові мережі або інтернет.

Центральна SCADA-система складається з серверів і програмного забезпечення, які обробляють та зберігають отримані дані. Інформація відображається на екранах оператора, що дозволяє операторам в реальному часі спостерігати за процесами, аналізувати дані і приймати рішення.

SCADA також забезпечує аварійне сповіщення, генеруючи сигнали тривоги, коли параметри виходять за межі допустимих значень. Це дозволяє операторам швидко реагувати на потенційні проблеми. Дані зберігаються в системі для історичного аналізу, що дозволяє створювати звіти і проводити аналіз ефективності роботи системи.

### **1.2.1 Автоматизована системи дистанційного моніторингу якості води з можливістю бездротового зв'язку**

Класичні методи контролю якості води, такі як забір зразків та їх лабораторний аналіз, втрачають свою актуальність та ефективність через стрімкий розвиток технологій. Це призвело до створення патентів, дослідження теми віддаленого моніторингу показників води та розробки автоматизованих систем.

Автоматизована система дистанційного контролю якості води з можливістю бездротового зв'язку включає в себе 3 основні компоненти:

- а) моніторингові пристрої – вони оснащені датчиками для вимірювання параметрів води, мікроконтролером для обробки даних та радіокомунікаційним модулем для передачі даних;
- б) шлюз – один з апаратів моніторингу, що географічно найближче до базової станції, який отримує та передає дані;
- в) базова станція – приймає дані від шлюзу і передає їх на сервер для подальшої обробки;
- г) сервер – отримує параметри з моніторингових пристроїв через базову станцію.

Тобто система моніторингу складається з декількох автономних апаратів, кожен з яких обладнаний різними сенсорами для вимірювання екологічних параметрів води. Шлюз, обраний серед апаратів, передає ці дані на базову станцію. І вже через базову станцію дані передаються на сервер [17]. Структурна схема системи моніторингу представлена на рис. 1.7.

Використання такої системи може бути різноманітним, наприклад:

- моніторинг якості питної води в реальному часі для забезпечення безпеки споживачів;
- контроль якості води в промислових процесах, щоб уникнути забруднення і підтримувати екологічні стандарти;

– спостереження за станом природних водних об'єктів для виявлення забруднення та прийняття своєчасних заходів.

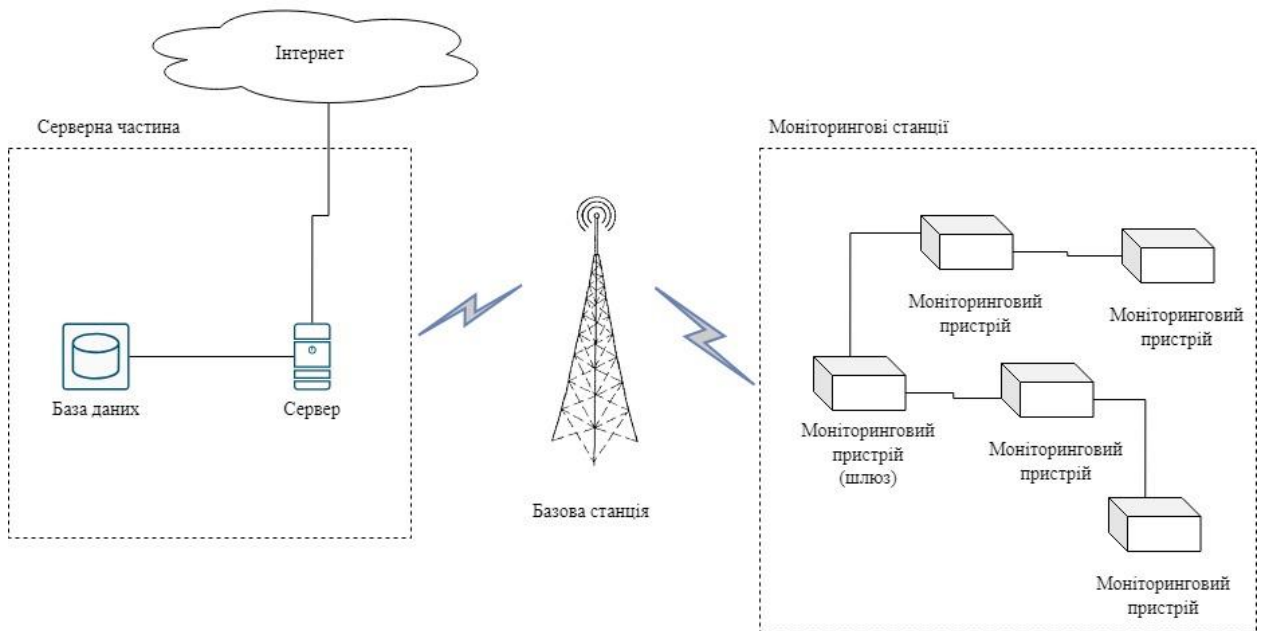


Рисунок 1.7 – Структурна схема автоматизованої системи моніторингу якості води

Запровадження автоматизованих систем дистанційного моніторингу якості води сприяє значному прогресу в галузі управління водними ресурсами.

Такі системи забезпечують покращення точності та оперативності даних, оскільки можливість отримання інформації в реальному часі дозволяє швидко реагувати на зміни якості води.

Крім того, автоматизація процесу зменшує потребу в ручному зборі зразків та лабораторних аналізах, що, в свою чергу, призводить до зниження витрат на моніторинг.

Важливим аспектом є також розширення масштабів моніторингу завдяки бездротовим технологіям, які дозволяють здійснювати моніторинг у важкодоступних місцях.

## **1.2.2 Виявлення забруднення води на ранніх стадіях за допомогою інноваційних рішень на базі IoT**

Останні дослідження демонструють, що системи на базі IoT значно спрощують процес моніторингу якості води, роблячи його більш ефективним, економічним і точним. Автоматизація збору даних та їх передача до централізованих хмарних серверів дозволяє аналізувати великий обсяг даних і швидко реагувати на проблеми. А використання таких технологій, як Arduino, Zigbee, FPGA, значно знижує вартість та час моніторингу

Одним із прикладів таких систем є розроблена система моніторингу якості води на основі Node-MCU [18]. Прототип системи контролює каламутність води, водневий показник, електропровідність та інші забруднюючі речовини. Дані з датчиків обробляються та зберігаються в хмарі, де для прогнозування придатності питної води використовується штучний інтелект.

Архітектура системи:

- датчики вимірювання рівня рН, каламутності, електропровідності, температури та інші;
- мікроконтролер Node-MCU з вбудованим WiFi-модулем, який з'єднує всі датчики, збирає дані та передає їх на сервер;
- отримані дані з мікроконтролера зберігаються в хмарі, де вони можуть бути проаналізовані для визначення якості води.

Блок-схему роботи даної системи наведено на рис. 1.8.

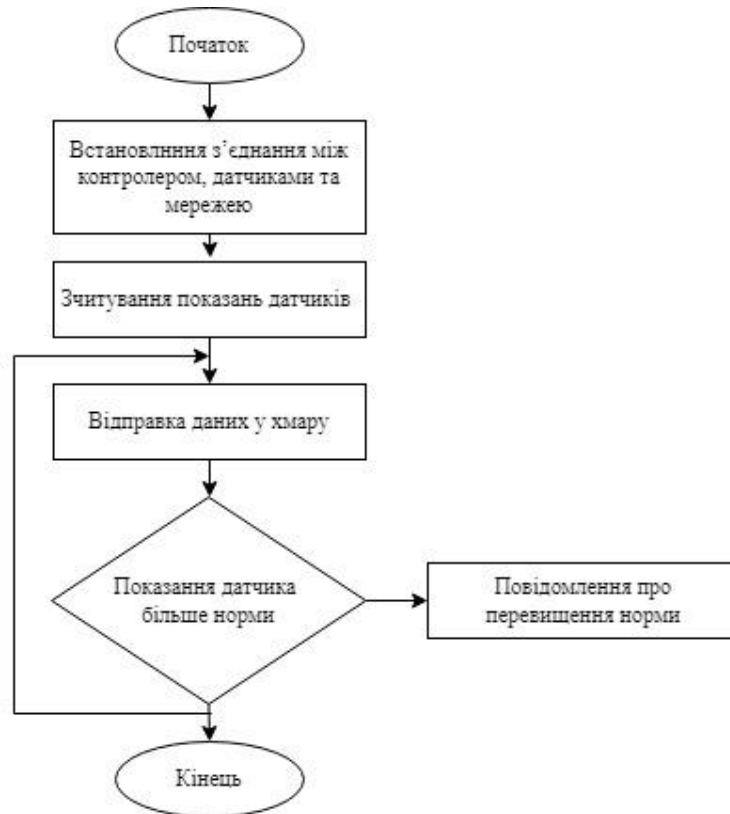


Рисунок 1.8 – Блок-схема роботи системи моніторингу якості води

Система була протестована на трьох зразках води. Результати вимірювань представлені в табл. 1.2 [18].

Таблиця 1.2 – Показники якості води для різних зразків

Показник	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Водневий показник, рН	7.50	9.30	9.72
Каламутність, NTU	4.00	5.60	5.33
Електропровідність, мкСм/см	450	600	709
Вуглекислий газ, мг/л	1.20	1.82	1.89

З аналізу видно, що зразок 1 є придатним для пиття, оскільки має нейтральний рівень рН, низьку каламутність, помірну електропровідність і невелику концентрацію вуглекислого газу. Зразки 2 і 3 також мають помірну каламутність, але електропровідність, концентрація вуглекислого газу та рН



підвищені. Це робить їх непридатними для споживання без попередньої обробки або очищення. Для забезпечення якості води в цих зразках необхідно застосовувати відповідні методи обробки чи фільтрації.

### 1.3 Аналіз існуючих рішень

Сучасні системи дистанційного моніторингу якості води часто інтегрують датчики для виміру важливих параметрів, таких як температура, рН, кількість розчиненого кисню, і провідність. Але діапазони та точність вимірювань різняться між моделями. Також більшість пристроїв мають можливість підключення до мобільних застосунків для віддаленого моніторингу показників.

Обрані для порівняння пристрої підтримують дистанційний моніторинг через застосунок TuYa Smart. Більш детальні характеристики представлені в табл. 1.3.

Tuya Smart – це популярний мобільний застосунок «розумного будинку», який забезпечує зручну інтеграцію та керування різноманітними пристроями. Ключовими перевагами використання пристроїв, які підтримують цей застосунок, є:

- відстеження показників якості води в режимі реального часу з будь-якої точки, де є доступ до інтернету;
- керування різними пристроями в межах одного застосунку;
- сповіщення про відхилення показників від норми та їх аналіз;
- автоматизація та інтеграція пристроїв в більш складні системи за допомогою налаштування автоматичних сценаріїв;
- постійні оновлення та підтримка застосунку.

Отже, використання пристроїв з підтримкою TuYa Smart має низку переваг, що забезпечує потенціал для автоматизації та майбутнє розширення системи в рамках концепції «розумного будинку».

Таблиця 1.3 – Характеристики систем моніторингу якості води з дистанційною передачею даних

Модель пристрою	YIERYI YY-W9909 [19]	WQM-397 [20]	OW-W3988 [21]
Діапазон вимірювання рН, рН	0.01–14.00	0.01–14.00	0.01–14.00
Точність вимірювання рН, рН	± 0.05	± 0.1	–
Вимірювання ЕС, мкСм/см	до 9999.00	–	до 19000.00
Вимірювання TDS, ppm	до 19990.00	до 19900.00	До 19990.00
Точність вимірювання TDS, %	± 2	± 2	–
Вимірювання солоності, ppt	10.10–199.90	0–199.00	0–199.90
Питома вага, SG	0.90–1.40	0.99–1.40	0.99–1.40
Температура, °C	0.10–50.00	0–50.00	0–50.00
Точність температури, °C	± 0.5	± 1.0	–
Температурна компенсація, °C	0.10–60.00	0–50.00	–
Керування	WI-FI, мобільний застосунок TuYa Smart	WI-FI, мобільний застосунок TuYa Smart	WI-FI, мобільний застосунок TuYa Smart
Ціна, \$	69.99	62.90	173.34
Розміри, мм	–	100 × 75 × 22	–
Вага, г	–	≈120	–

З огляду на технічні характеристики, YY-W9909 виділяється найбільшим діапазоном та точністю вимірювань більшості параметрів, а також розширеною температурною компенсацією. Це може бути критично важливим для високоточних застосувань. Зображення цієї моделі представлено на рис. 1.9.

YIERYI®



Рисунок 1.9 – Система моніторингу якості води YIERYI YY-W9909

WQM-397 поступається YY-W9909 за деякими показниками точності, але при цьому має компактні розміри та малу вагу. Зображення цієї моделі представлено на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Система моніторингу якості води WQM-397

OW-W3988 найменш деталізований в специфікації, відсутні дані щодо точності вимірювань та температурної компенсації. Але він також має функцію підключення до мобільного застосунку. Зображення цієї моделі представлено на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 – Система моніторингу якості води OW-W3988

Порівняння трьох популярних моделей систем моніторингу показало, що всі вони підтримують підключення до застосунку TuYa Smart для віддаленого керування та моніторингу. YIERYI YY-W9909 виділяється найбільшим діапазоном та високою точністю вимірювань більшості параметрів, що робить його придатним для високоточних застосувань. WQM-397 має компактні розміри та малу вагу, але поступається точністю деяким показникам. OW-W3988 менш деталізований у специфікації, але також підтримує інтеграцію з TuYa Smart.

## 1.4 Формування вимог до АПЗ

Для виконання завдання КБР за темою «Організація дистанційної передачі даних щодо якості води в системі централізованого водопостачання» необхідно визначити вимоги до апаратно-програмного забезпечення.

Головною задачею є дослідження процесу дистанційної передачі даних про якість води в системі централізованого водопостачання та розробка відповідного апаратно-програмного комплексу для забезпечення цього процесу.

Дослідження процесу включає в себе аналіз існуючих методів та засобів контролю якості води в системах централізованого водопостачання. Впровадження системи дистанційної передачі даних про якість води повинно бути обґрунтовано.

Розробка апаратно-програмної частини системи передбачає використання:

- мікроконтролера, для обробки показників і передачі даних;
- датчика, для вимірювання якості води;
- застосунку, для відображення даних користувачу;
- серверу, для обробки даних, комунікації з мікроконтролером та застосунком користувача.

Вибір вже готового мікроконтролера та датчика потрібний задля прискорення процесу розробки та можливості зосередитися на проєктуванні всієї системи. Розробка серверу та застосунку здійснюється за допомогою вже існуючих інструментів та технологій.

Розроблена система повинна бути протестована, що дозволить перевірити її працездатність та адаптувати до потреб користувача. Результати тестування повинні бути проаналізовані. Також необхідно оцінити ефективність впровадження розробленої системи та визначити можливості подальшого вдосконалення.

## Висновки до розділу 1

Розглянувши методи контролю якості води, можна зробити висновок, що моніторинг водних ресурсів має вирішальне значення для безпечного споживання води та збереження довкілля.

Для цього використовується широкий спектр приладів і датчиків, які аналізують різноманітні показники якості води. TDS-метри вимірюють загальну концентрацію розчинених твердих речовин, рН-метри визначають рівень кислотності або лужності води, датчики розчиненого кисню відстежують концентрацію розчиненого у воді кисню, а турбідиметри аналізують каламутність води.

Комплексне застосування цих приладів дозволяє ретельно контролювати стан водойм, виявляти забруднення та відстежувати вплив на водні екосистеми.

Існуючі технології в області дистанційного моніторингу якості води демонструють значні переваги порівняно з традиційними методами збору проб та їх лабораторного аналізу. Дистанційний моніторинг забезпечує отримання даних у режимі реального часу, що дозволяє швидко виявляти проблеми та вчасно реагувати на зміни.

Автоматизовані системи з використанням бездротових технологій спрощують розгортання моніторингу навіть у віддалених районах. Інноваційні рішення на базі IoT із застосуванням мікроконтролерів, бездротових протоколів та хмарних сервісів значно підвищують ефективність, точність та економічність моніторингу.

Системи моніторингу з використанням датчиків для вимірювання різноманітних параметрів якості води дозволяють своєчасно виявляти забруднення на ранніх стадіях. Це дає можливість завчасно вживати необхідних заходів для захисту водних ресурсів та здоров'я людей.

Аналіз існуючих рішень показав, що в сучасні системи дистанційного моніторингу якості води зазвичай інтегрують набір датчиків, таких як рН, електропровідність, загальна кількість розчинених твердих речовин, солоність та температура.

Більшість таких пристроїв підтримують підключення до мобільних застосунків, що забезпечує зручний віддалений моніторинг показників та сповіщення про відхилення від норм. Популярним рішенням для інтеграції є застосунок Tuua Smart, який дозволяє керувати різними пристроями в межах однієї платформи, автоматизувати процеси та здійснювати аналітику.

Порівняння трьох моделей систем моніторингу виявило відмінності у діапазонах та точності вимірювань різних параметрів. Загалом, сучасні системи дистанційного моніторингу якості води забезпечують ефективні рішення для безперервного контролю стану води та виявлення відхилень у реальному часі.

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1 Вибір необхідних технологій та компонентів

Засоби комп'ютерної інженерії включають широкий спектр інструментів та методів, які використовуються для проєктування, розробки, тестування та впровадження апаратного і програмного забезпечення. Основні категорії програмних засобів, що застосовуються для створення АПЗ:

- 1) системи автоматизованого проєктування:
  - а) EDA (Electronic Design Automation) – використовуються для проєктування мікросхем і друкованих плат;
  - б) CAD (Computer Aided Design) – дозволяє створювати моделі апаратних компонентів, симулювати фізичні властивості та перевіряти відповідність технічним вимогам;
- 2) середовища розробки (IDE) – забезпечують інструментами для написання, редагування, налагодження та компіляції коду;
- 3) інструменти для моделювання та симуляції – дозволяють створювати моделі апаратних і програмних компонентів для оцінки їх поведінки у віртуальному середовищі;
- 4) інструменти для тестування – дозволяє автоматизувати процеси написання і виконання тестів, забезпечуючи виявлення помилок, перевірку відповідності вимогам і підвищення якості коду;
- 5) системи керування версіями проєкту – забезпечують зберігання історії змін коду, управління різними версіями проєкту та підтримку командної розробки.

Всі вище перелічені засоби слугують невід'ємною частиною процесу розробки АПЗ комп'ютерним інженером. Вони допомагають автоматизувати складні процеси, підвищувати продуктивність та забезпечувати якість, що сприяє успішній реалізації проєктів.



Окрім програмних засобів, розробка, тестування та впровадження вимагають використання різних апаратних засобів та інструментів. Основні категорії таких засобів включають:

- 1) інструменти для монтажу та пайки:
  - а) паяльні станції: використовуються для ручного монтажу електронних компонентів на друковані плати;
  - б) паяльні пасти та флюси: хімічні засоби, які допомагають забезпечити якісний процес пайки;
  - в) інфрачервоні паяльні системи (IR soldering systems): для пайки чутливих до температури компонентів;
- 2) інструменти для механічної обробки:
  - а) 3D принтери: дозволяють створювати фізичні прототипи апаратних компонентів;
  - б) лазерні різачки: використовуються для вирізання або гравірування на різних матеріалах;
- 3) контроль та вимірювання:
  - а) осцилографи: для аналізу електричних сигналів;
  - б) логічні аналізатори: для аналізу та верифікації цифрових сигналів;
  - в) мультиметри: для вимірювання електричних параметрів (напруга, струм, опір);
  - г) спектроаналізатори: для аналізу частотних характеристик сигналів.

Отже, використання апаратних засобів забезпечує якісний монтаж, створення прототипів і точний аналіз, що сприяє створенню надійних і високоякісних продуктів. Тому поєднання програмних і апаратних засобів дозволяє реалізувати якісне проектування, розробку та впровадження необхідної системи.

Для проєктування АПЗ за темою кваліфікаційної роботи, необхідні наступні засоби:

- 1) апаратні засоби:
  - а) мікроконтролер з модулем Wi-Fi, який дозволить обробляти показники з датчику та передавати дані на сервер.;
  - б) датчик, який може слугувати індикатором рівня забруднення води;
  - в) джерело живлення з напругою 4.5–9.0 В;
  - г) з'єднувальні проводи та компоненти;
- 2) програмні засоби:
  - а) середовище розробки, яке дозволить писати, редагувати програмний код та програмувати мікроконтролер;
  - б) бібліотеки для роботи з апаратними засобам;
  - в) інструменти для моделювання, що дозволять аналізувати та тестувати різні аспекти апаратно-програмної системи до її фізичного створення;
  - г) інструменти для тестування, які дозволять перевірити працездатність та стабільність розробленої системи перед впровадженням.

### **2.1.1 Вибір мікроконтролера**

В якості мікроконтролера з модулем Wi-Fi обрано ESP8266, який інтегровано в плату NodeMCU, через свою низьку вартість, легкість використання та наявність широкого вибору інструментів для розробки. Зображення цього мікроконтролеру представлено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Плата NodeMCU на базі ESP8266

NodeMCU V3 ESP8266 – це плата для на базі чіпа ESP8266, який являє собою UART-Wi-Fi модуль з низьким енергоспоживанням. Плата дозволяє зручно розробляти пристрої IoT, оскільки включає готове підключення по USB, регулятор живлення та інтерфейси обміну даними. Крім того, плата постачається з прошивкою NodeMCU, що дозволяє програмувати її не лише за допомогою Arduino IDE, а й з використанням мови програмування Lua [22]. Розпіновка плати зображена на рис. 2.2.

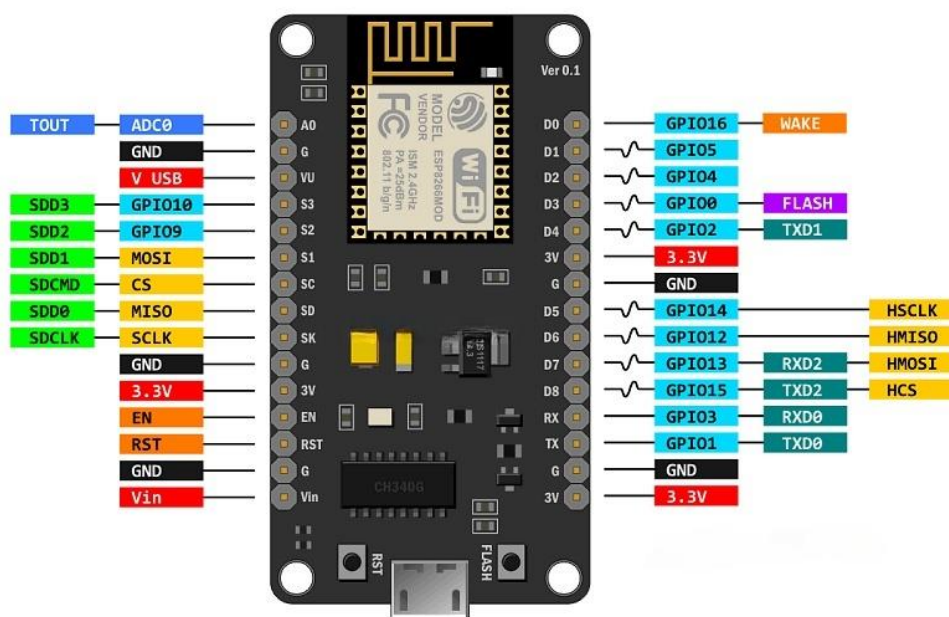


Рисунок 2.2 – Розпіновка плати NodeMCU на базі ESP8266

Детальний опис пінів плати [26]:

- 1) піни живлення (червоний колір):
  - а) VIN: використовується для підключення зовнішнього джерела живлення 5 В. Стабілізатор AMS1117-3.3 дозволяє подавати живлення на VIN в широкому діапазоні від 5 до 10 В. Хоча стабілізатор допускає подачу вищої напруги (до 15 В), але без додаткового охолодження може виникати перегрів чипа;
  - б) 3.3 В: контакт, на який подається вихідна напруга вбудованого стабілізатора. Може бути використаний для живлення підключених до плати датчиків. Сумарне максимальне навантаження всіх виводів 3.3 В не повинно перевищувати 300 мА;
  - в) В USB: вивід, на який заведена напруга 5 В з USB-роз'єму;
- 2) GND (чорний колір): загальний, «земля»;
- 3) GPIO (яскраво-блакитний колір): контакти вводу/виводу загального призначення. Можуть бути налаштовані як входи або виходи і програмно призначені на різні функції. NodeMCU підтримує програмний ШІМ на виводах, позначених на рис. вигнутою лінією, а піни зображені прямою лінією – цифрові;
- 4) виводи керування (жовтогарячий колір):
  - а) RST (Reset): вивід використовується для скидання мікроконтролера ESP8266;
  - б) EN (Chip Enable): при подачі на контакт сигналу високого рівня, мікроконтролер ESP8266 переходить в робочий режим, при сигналу низького рівня – в режим енергозбереження;
  - в) WAKE: контакт використовується для пробудження чипа ESP8266 з режиму глибокого сну (deep-sleep mode);
- 5) АЦП (синій колір):
  - а) ADC0/TOUT – вивід вбудованого 10-розрядного аналого-цифрового перетворювача. Перетворені значення лежать

в інтервалі 0–1023. Плата постачається з внутрішнім дільником напруги, тому вхідний діапазон становить від 0 до 3.3 В. Діапазон вхідної напруги для АЦП 0 –1.0 В;

6) UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, зелений колір): асинхронний послідовний інтерфейс, який встановлює зв'язок з іншими пристроями по шині UART. У контролера ESP8266 два модулі UART. Максимальна швидкість передачі даних 4.5 Мбіт/с;

7) SPI (Serial Peripheral Interface, жовтий колір): послідовний периферійний інтерфейс. NodeMCU має два SPI (SPI і HSPI) у ведучому і підлеглому режимах;

8) SDIO (зелений колір): інтерфейс безпечних цифрових входів/виходів, призначений для комутації з зовнішньою флеш-пам'яттю стандарту SD по послідовній шині.

В табл. 2.1 представлені характеристики плати NodeMCU на базі ESP8266.

Таблиця 2.1 – Характеристики плати NodeMCU V3 ESP8266

Назва	Значення
Мікроконтролер	ESP-8266 32-bit
Розмір, мм	58 × 32
Ширина між выводами, мм	27.94 (1.1")
Тактова частота процесора, базова, МГц	80
Мікросхема USB to Serial	CH340G
Роз'єм USB	micro-USB
Робоча напруга, В	3.3
Вхідна напруга, В	4.5–10
Обсяг флеш-пам'яті, Мбайт	4
Обсяг ОЗП, кбайт	64
Кількість пінів вводу / виводу	11
Кількість аналогових пінів	1
Діапазон АЦП, В	0.0–3.3
Кількість інтерфейсів UART/SPI/I2C	1 / 1 / 1
Стандарти роботи Wi-Fi модуля	802.11b/g/n

Внутрішня архітектура ESP8266 складається з 32-бітного процесора Tensilica L106, який відповідає за виконання програм та обробку даних, а також вбудованої оперативної пам'яті (RAM) та флеш-пам'яті для зберігання програм і даних.

Вбудований модуль Wi-Fi дозволяє ESP8266 підключатися до бездротових мереж стандарту 802.11b/g/n у діапазоні 2.4 ГГц. Він може працювати як у режимі клієнта (підключатися до існуючої мережі), так і у режимі точки доступу (створювати власну мережу) [28].

Мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi був обраний через декілька ключових переваг:

- висока швидкість передачі даних;
- велика дальність дії;
- широка доступність та сумісність з більшістю пристроїв;
- легкість інтеграції завдяки численним бібліотекам та інструментам для розробників;
- можливість одночасного підключення багатьох пристроїв;
- підтримка існуючих інфраструктур бездротових мереж.

Порівняння Wi-Fi з іншими технологіями бездротової передачі даних:

а) Bluetooth – Wi-Fi забезпечує вищу швидкість передачі даних і більший діапазон дії порівняно з Bluetooth. Втім, Bluetooth зазвичай використовується для короткодіапазонного зв'язку і має менше енергоспоживання, що робить його відповідним для батарейних пристроїв;

б) стільникові мережі – Wi-Fi призначений для локальних мереж на коротких відстанях, тоді як мобільні мережі забезпечують зв'язок на великі відстані та швидку передачу даних. Стільникові мережі відомі своєю великою покриттям, але зазвичай більш дорогі та потребують спеціалізованого обладнання;

в) LoRaWAN – Wi-Fi має більшу пропускну здатність та швидкість передачі даних, тоді як LoRaWAN забезпечує велику дальність дії та

ефективність енергоспоживання на великих відстанях, хоча з меншою швидкістю передачі даних.

В табл. 2.2 представлено стандарти Wi-Fi та їх характеристики, такі як частота, швидкість передачі даних та радіус дії [30].

Таблиця 2.2 – Норми рівня TDS

<b>Стандарт</b>	<b>Рік створення</b>	<b>Частота, ГГц</b>	<b>Швидкість, Мбіт/с</b>	<b>Радіус дії, м</b>
802.11a	1999	5	54	120
802.11b	1999	2.4	11	140
802.11g	2003	2.4	54	140
802.11n	2009	2.4; 5	600	250
802.11ac	2014	2.4; 5	1300	70

IEEE 802.11a був створений у 1999 році, працює у діапазоні 5 ГГц. Це було зроблено з метою зменшення перешкод, оскільки багато пристроїв (включаючи більшість бездротових телефонів) також використовують діапазон 2.4 ГГц. 802.11a також має високу швидкість передачі даних, досягаючи максимальної швидкості 54 Мбіт/с. Однак на частоті 5 ГГц складніше працювати з об'єктами на шляху сигналу, тому дальність дії часто обмежена.

IEEE 802.11b також створений у 1999 році, цей стандарт використовує більш типовий діапазон 2.4 ГГц і може досягати максимальної швидкості 11 Мбіт/с.

IEEE 802.11g розроблений у 2003 році, підвищив максимальну швидкість передачі даних до 54 Мбіт/с зі збереженням надійного діапазону 2.4 ГГц. Це призвело до широкого поширення стандарту.

IEEE 802.11n представлений у 2009 році. Цей стандарт спочатку мав повільне впровадження. Стандарт 802.11n працює як на частоті 2.4 ГГц, так і на частоті 5 ГГц, а також підтримує багатоканальне використання. Кожен канал забезпечує максимальну швидкість передачі даних 150 Мбіт/с, що

означає, що максимальна швидкість передачі даних за стандартом складає 600 Мбіт/с.

IEEE 802.11ac це стандарт, яким користується більшість бездротових пристроїв. Випущений у 2014 році, стандарт Wi-Fi 5 різко збільшує пропускну здатність даних для пристроїв Wi-Fi до максимально 1300 Мбіт/с. Крім того, Wi-Fi 5 додає підтримку MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output), додаткові канали передачі Wi-Fi для діапазону 5 ГГц та підтримку більшої кількості антен на одному маршрутизаторі.

### 2.1.2 Вибір датчика для аналізу якості води

Для аналізу якості води обрано датчик рівня розчинених твердих речовин (TDS) [23]. Вигляд датчика на рис. 2.3.

TDS вказує на загальну кількість розчинених твердих речовин у воді, таких як мінерали, солі та інші речовини. Чим вище значення TDS, тим більше речовин розчинено у воді, що може вказувати на загрозу здоров'ю.

Норми рівню TDS зазвичай встановлюються згідно з місцевими нормативами та стандартами для водопостачання та можуть відрізнятися в залежності від конкретного регіону та призначення води. Але загальноприйняті норми наведено в табл. 2.3 [29].

Таблиця 2.3 – Норми рівня TDS

Тип води	Значення TDS, ppm
М'яка	50
Середньої жорсткості	170
Жорстка	300
Дуже жорстка	400
Гранично допустима жорсткість	500

Датчики можуть бути аналоговими або цифровими. Вони зазвичай мають електроди для контакту з водою та вимірювальні схеми для перетворення провідності на значення TDS. Конструкція може варіюватися в



залежності від виробника та моделі, але основні елементи включають електроди для зчитування провідності та корпус для захисту від вологи.



Рисунок 2.3 – Датчик рівня TDS

Характеристики TDS-метру [27]:

- вхідна напруга DC 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  $\pm 10\%$ ;
- інтерфейс модуля ХН2.54-3Р;
- інтерфейс електрода ХН2.54-2Р.

Характеристики TDS-метру демонструють його ефективність та відмінну сумісність з мікроконтролерами. З вхідною напругою від 3.3 до 5.5 В та вихідною напругою від 0 до 2.3 В, цей датчик може працювати з різними джерелами живлення. Робочий струм від 3 до 6 мА забезпечує ефективне енергоспоживання. Діапазон вимірювання TDS від 0 до 1000 ppm з точністю  $\pm 10\%$  гарантує достатню чутливість та надійність вимірювань.

### 2.1.3 Вибір інших компонентів системи

Для живлення та програмування мікроконтролера потрібен micro-USB кабель. Для з'єднання датчика з контролером необхідні кабелі типу «мама-мама» [24], так як на контролер вже припаяна планка з контактами (Pin Header Strip), але немає можливості підключення за допомогою макетної плати.

В якості середовища розробки обрано Arduino IDE, через багатфункціональність, велику спільноту та простоту використання. Для роботи з датчиком та мікроконтролером обрані бібліотеки «ESP8266WiFi» та «BlynkSimpleEsp8266».

ESP8266WiFi – це бібліотека для мікроконтролерів ESP8266, яка надає можливість роботи з Wi-Fi. Вона дозволяє ESP8266 підключатися до бездротових мереж, включаючи створення власних точок доступу або підключення до існуючих мереж.

Користь цієї бібліотеки полягає в тому, що вона дозволяє розширити функціональні можливості мікроконтролера ESP8266, дозволяючи йому обмінюватись даними з іншими пристроями та сервісами через бездротову мережу Wi-Fi.

Бібліотеку ESP8266WiFi можна використовувати для створення різноманітних проєктів Інтернету речей, де зв'язок через Wi-Fi є важливим елементом, наприклад, для збору та передачі даних до хмарних сервісів, керування пристроями з використанням мобільних застосунків або створення мережевих сенсорних систем.

BlynkSimpleEsp8266 – це бібліотека для мікроконтролерів ESP8266, яка дозволяє легко і швидко інтегрувати їх з платформою Blynk.

Платформа Blynk – це інноваційний сервіс для створення мобільних застосунків, керування та моніторингу різноманітних IoT-пристроїв через бездротове підключення. Вона надає зручний і простий інтерфейс для створення власних мобільних застосунків без програмування, що дозволяє швидко створювати і взаємодіяти з пристроями IoT.

Основні складові платформи Blynk включають в себе:

- хмарний сервер Blynk – це сервер, що забезпечує збереження та обробку даних, а також підтримує зв'язок між мобільними застосунками та підключеними пристроями;
- мобільний застосунок Blynk – застосунок, доступний для iOS та Android, який дозволяє користувачам створювати та налаштовувати власні інтерфейси керування для підключених пристроїв, а також отримувати реальний час інформації про їх стан;
- бібліотеки Blynk – набір бібліотек програмування для різних платформ мікроконтролерів (таких як Arduino, ESP8266, Raspberry Pi тощо), які дозволяють легко інтегрувати пристрої з платформою Blynk та створювати з ними взаємодію через Wi-Fi, Ethernet або Bluetooth;
- інтеграція з хмарними сервісами – Blynk також підтримує інтеграцію з різними хмарними сервісами, такими як Google Sheets, Twitter, Dropbox тощо, що дозволяє легко зберігати та обробляти дані, зібрані з ваших пристроїв.

Платформа Blynk використовується для розробки різних IoT-проектів, від домашньої автоматизації до промислового моніторингу та керування. Вона надає зручний спосіб взаємодії з вашими пристроями через мобільний застосунок, що робить її популярною серед розробників IoT-проектів будь-якого рівня складності. Приклад мобільного застосунку, який можна створити на платформі Blynk, зображено на рис. 2.4.

Використання цих засобів надає можливість створити ефективну систему моніторингу якості води. Завдяки апаратним засобам, зокрема мікроконтролеру ESP8266 та датчику для вимірювання рівня забруднення, можливе збирання та передача даних про якість води в реальному часі.

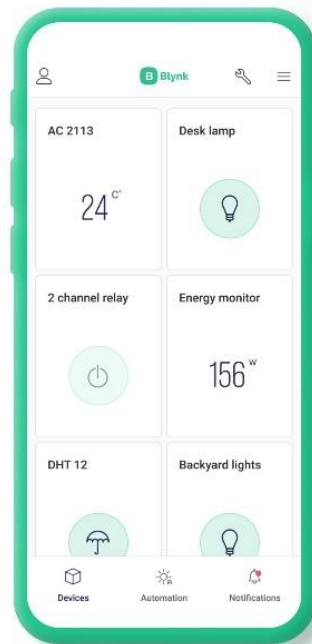


Рисунок 2.4 – Приклад мобільного застосунку на платформі Blynk

Програмні засоби, такі як Arduino IDE та різні бібліотеки, дозволять розробити та запрограмувати систему зручно та ефективно. Використання Blynk надає перевагу у легкому створенні серверу та клієнтської частини, що спрощує та пришвидшує процес розробки.

Отже, після огляду апаратних та програмних засобів, необхідних для розробки апаратно-програмної системи, було вибрано мікроконтролер ESP8266 на платі NodeMCU через його низьку вартість, легкість використання та широкі можливості для розробки IoT-проектів.

Датчик рівня розчинених твердих речовин (TDS) обрано для моніторингу якості води завдяки його точності та сумісності з мікроконтролером.

Для розробки програмного забезпечення обрано Arduino IDE та відповідні бібліотеки, що забезпечують зручну інтеграцію компонентів та ефективне управління системою.

## 2.2 Розробка функціональної схеми

Функціональна схема – це графічне представлення функціональної архітектури або взаємодії між компонентами системи, проєкту чи процесу [25]. Функціональна схема є важливим інструментом для розробки та проєктування систем, яка дозволяє:

- наочно представити структуру системи, основні її компоненти та зв'язки між ними;
- визначити необхідні компоненти, інтерфейси та протоколи передачі даних;
- виявити потенційні проблеми, обмеження або конфлікти в архітектурі системи.

Для подальшої роботи було розроблено функціональну схему системи дистанційної передачі даних щодо якості води, яка представлена на рис. 2.5.

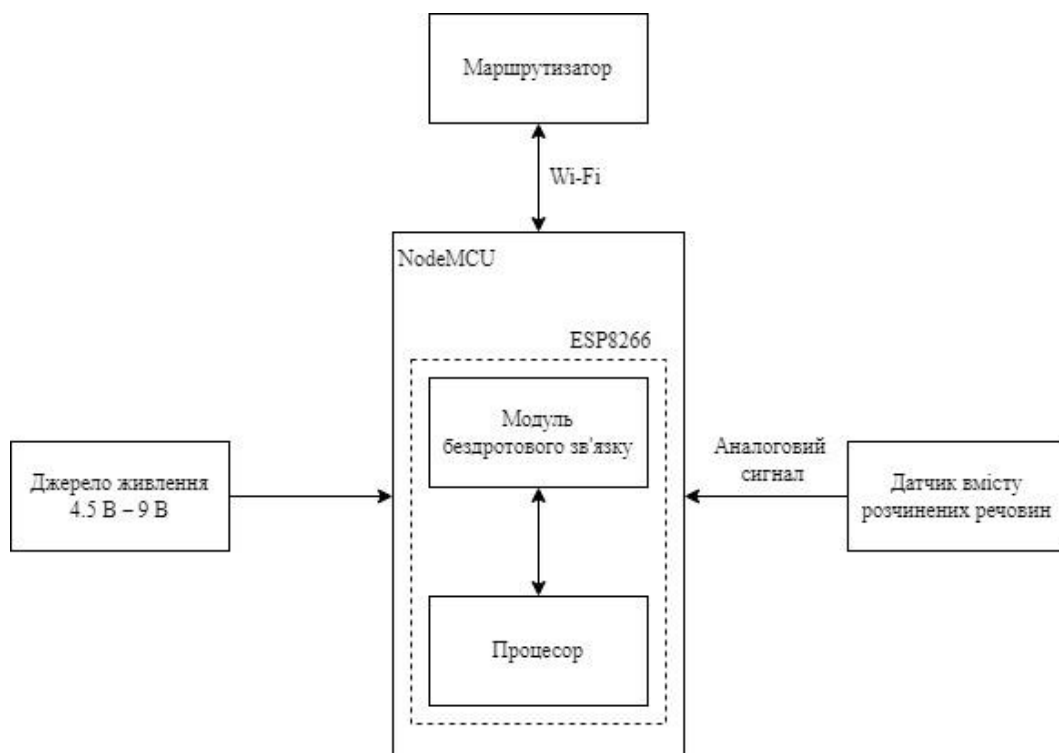


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи дистанційної передачі даних щодо якості води

Компоненти функціональної схеми:

- джерело живлення – блок живлення напругою 4.5–9.0 В, підключений до плати кабелем micro-USB;
- плата Node MCU на базі мікроконтролера ESP8266 з вбудованим Wi-Fi модулем;
- датчик вмісту розчинених речовин;
- маршрутизатор.

Плата NodeMCU є центральним компонентом системи, в яку завантажується програма для керування роботою системи. Вона живиться від зовнішнього блока живлення 4.5–9.0 В, який підключений до плати за допомогою кабелю micro-USB.

Датчик вмісту розчинених речовин вимірює провідність води, яка відображає концентрацію розчинених речовин, та передає сигнал на аналоговий вхід плати.

Мікроконтролер обробляє отримані дані відповідно до програми. Вже оброблені процесором дані передаються на вбудований Wi-Fi-модуль через внутрішню системну шину даних та спеціальні внутрішні інтерфейси.

Wi-Fi-модуль формує сигнал та передає дані на маршрутизатор. І вже маршрутизатор, підключений до Інтернету, забезпечує передачу даних на віддалений сервер.

### **2.3 Розробка алгоритму роботи АПЗ**

Алгоритм роботи апаратно-програмного забезпечення – це послідовність кроків або інструкцій, які виконуються апаратним та програмним компонентами системи для досягнення певної мети або виконання певного завдання. Такі алгоритми включають як програмні інструкції (наприклад, код), так і взаємодію з апаратними компонентами (наприклад, процесорами, пам'яттю, датчиками тощо).

Основні компоненти, які включає в себе алгоритм роботи апаратно-програмного забезпечення:

- ініціалізація: встановлення початкових умов і параметрів системи;
- завантаження та підготовка даних: зчитування даних з пам'яті, пристроїв введення або мережі;
- обробка даних: виконання обчислень або обробка даних за допомогою процесора або спеціалізованих апаратних модулів;
- взаємодія з апаратними компонентами: відправка команд до апаратних пристроїв або отримання даних від них;
- збереження результатів: запис оброблених даних в пам'ять або передачу їх на вихідні пристрої;
- завершення роботи: відключення або перехід до наступного циклу роботи.

Розробка алгоритму апаратно-програмного забезпечення дозволяє створювати ефективні, надійні та зручні у використанні системи, які значно покращують продуктивність, точність та безпеку виконуваних завдань, одночасно знижуючи витрати на їх реалізацію та підтримку.

Алгоритм роботи системи моніторингу якості води передбачає послідовне виконання наступних кроків:

- мікроконтролер повинен підключитися до мережі для забезпечення зв'язку з сервером;
- проведення налаштувань та ініціалізація датчика якості води;
- регулярне зчитування показань датчика з аналогового піна мікроконтролера;
- обробка отриманих вимірювань та їх відправка на сервер для збереження та подальшого аналізу;
- надсилання інформації про результати моніторингу користувачеві на мобільний застосунок;

- перевірка отриманих даних на відповідність встановленим нормам якості води;
  - повідомлення користувача про відхилення показань від норми;
  - продовження циклу моніторингу якості води та відправлення даних.
- Блок-схема алгоритму роботи системи зображена на рис. 2.6.

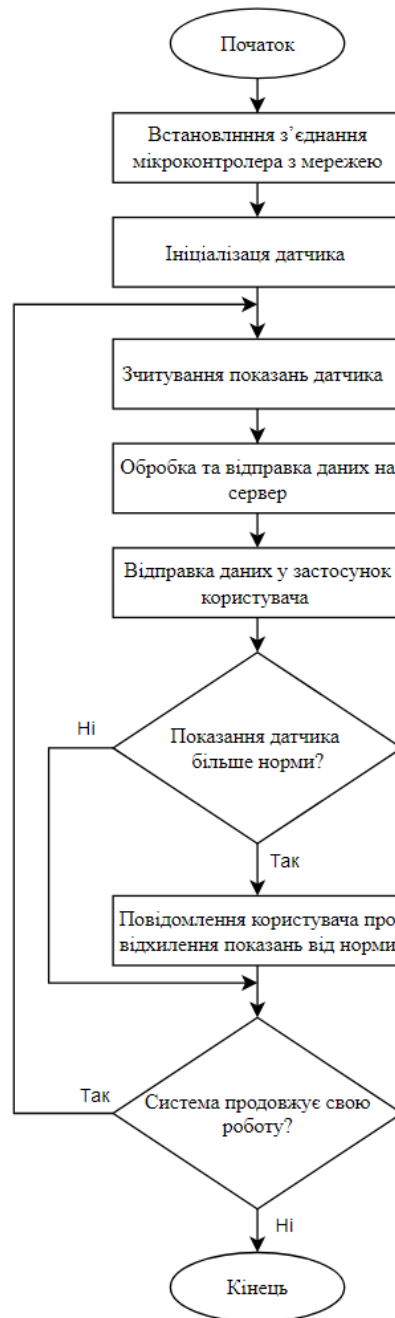


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму роботи системи дистанційного моніторингу якості води



Опис блок схеми, представленої на рис. 2.6:

- початок роботи системи починається з встановлення зв'язку між мікроконтролером та маршрутизатором. За допомогою вбудованого модуля Wi-Fi на контролері, система підключається до маршрутизатора з вже відомими налаштуваннями;
- наступний крок – ініціалізація датчика вмісту розчинених речовин у воді. Відбувається визначення піна мікроконтролера, до якого підключений датчик, та інших змінних які необхідні для зчитування показників;
- далі відбувається зчитування показань з TDS датчика через аналоговий пін та збереження їх у буфері;
- після зчитування показників мікроконтролер обробляє зчитані дані та відправляє їх на сервер;
- сервер приймає оброблені дані, перевіряє їх на відповідність нормі, та відправляє показники у мобільний застосунок користувача;
- далі мобільний застосунок користувача аналізує отримані данні від серверу, та при необхідності повідомляє користувача про відхилення якості води від норми;
- якщо система моніторингу продовжує свою роботу, алгоритм повертається до кроку зчитування показань з датчику, тим самим забезпечуючи постійне оновлення даних.

Отже, такий алгоритм дозволяє системі моніторингу якості води безперервно збирати та передавати дані про вміст розчинених речовин у воді, обробляти їх та повідомляти користувача про будь-які відхилення від норми.

## **Висновки до розділу 2**

У цьому розділі було розглянуто необхідні технології та компоненти для розробки АПЗ з метою моніторингу якості води, розробки функціональної схеми системи та алгоритму її роботи.

Розглянуто широкий спектр інструментів і методів комп'ютерної інженерії, і з'ясовано що вони є невід'ємною частиною процесу розробки АПЗ, які сприяють автоматизації складних процесів, підвищують продуктивність і забезпечують якість.

Також було обрано необхідні компоненти для реалізації проєкту:

- мікроконтролер ESP8266;
- датчик рівня розчинених твердих речовин;
- джерело живлення;
- з'єднувальні проводи та компоненти.

Аналіз інструментів для реалізації програмної частини системи показав необхідність у використанні Arduino IDE, відповідних бібліотек та платформи Vlnk, які дозволять розробити, запрограмувати систему ефективно та легко створити серверну та клієнтську частини, що спрощує та пришвидшує процес розробки.

Також розроблено функціональну схему й алгоритм роботи системи дистанційної передачі даних щодо якості води, що дозволило чітко зрозуміти потреби системи для ефективнішої реалізації архітектури АПЗ.

## **3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ**

### **3.1 Розробка архітектури АПЗ**

Розробка архітектури апаратно-програмного забезпечення – це складний процес, який передбачає ретельне планування та поєднання всіх компонентів системи. Завдяки попередній розробці функціональної схеми та алгоритму роботи, реалізація архітектури АПЗ була спрощена, що уможливило систематичний підхід, який включає наступні етапи:

- а) проєктування апаратної частини – на основі обраної апаратної платформи, всі компоненти поєднуються в єдину систему;
- б) розробка програмного забезпечення – паралельно з проєктуванням апаратної частини, здійснюється програмування мікроконтролера, яке реалізує алгоритм роботи системи.
- в) інтеграція апаратного та програмного забезпечення – на цьому етапі відбувається об'єднання апаратної та програмної складових;
- г) оптимізація та налаштування – за необхідності виконується оптимізація апаратних та програмних компонентів для досягнення максимальної ефективності роботи системи, налаштування параметрів та усунення виявлених недоліків.

#### **3.1.1 Розробка апаратної частини**

Згідно функціональної схеми, яка зображена на рис. 2.5, система включає такі компоненти:

- плата з мікроконтролером, в який інтегровано модуль бездротового зв'язку – NodeMCU v3 ESP8266 (рис. 3.1);

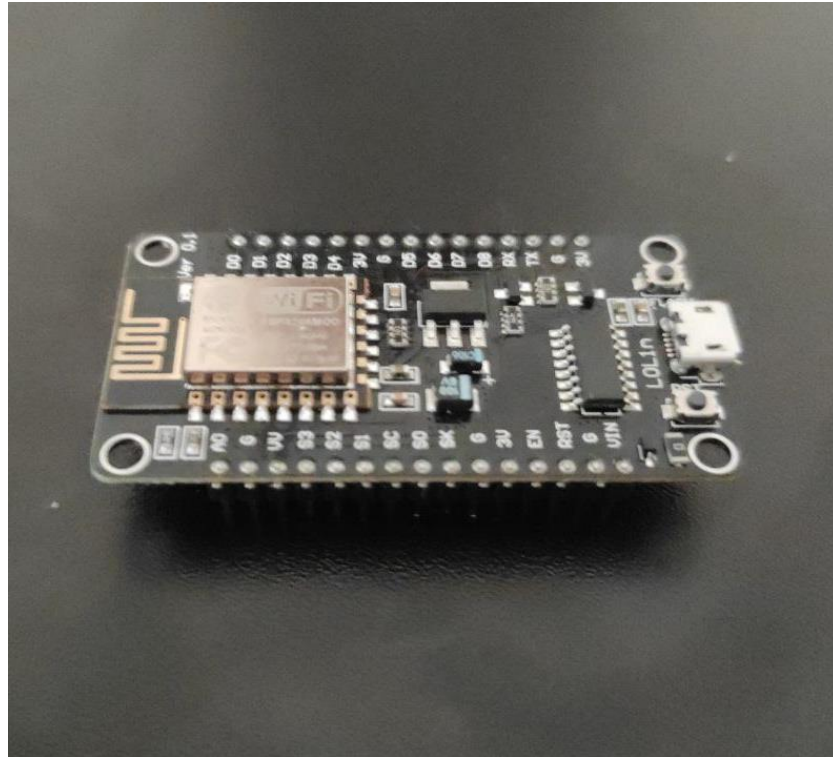


Рисунок 3.1 – Плата NodeMCU v3 ESP8266

– датчик вмісту розчинених речовин у воді (рис. 3.2) з контролером (рис. 3.3);

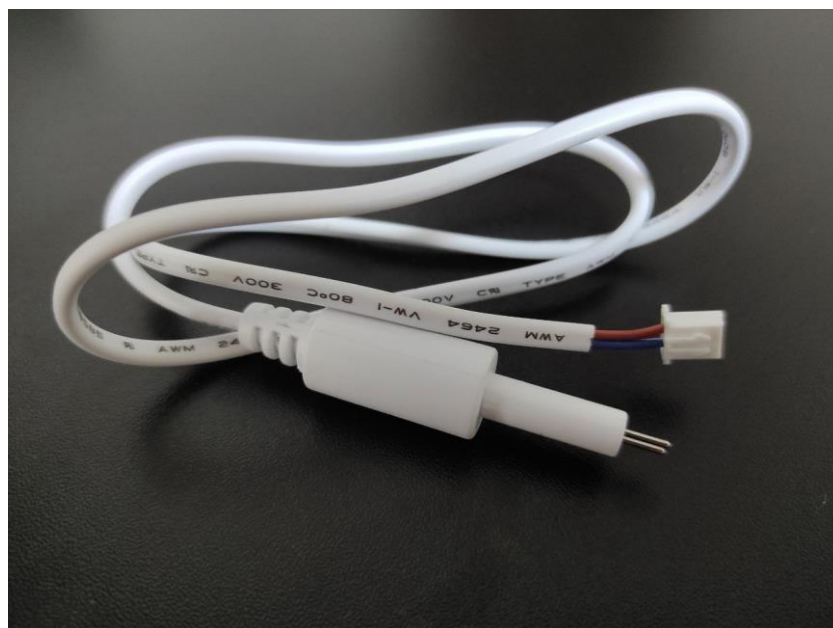


Рисунок 3.2 – Датчик вмісту розчинених речовин у воді (TDS)

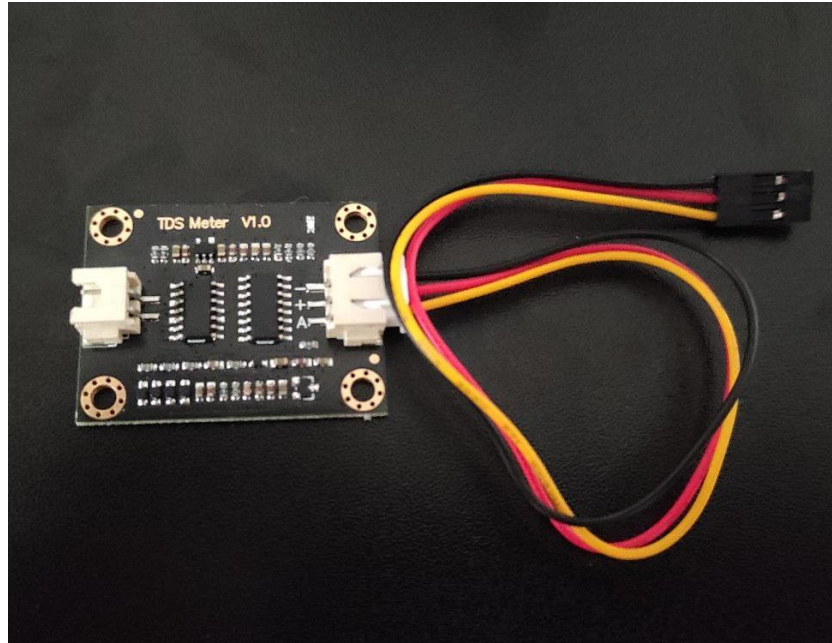


Рисунок 3.3 – Контролер для датчика TDS

- кабель мікро-USB з підтримкою передачі даних та блок живлення;
- кабель типу «мама-мама» для з'єднання всіх компонентів апаратного забезпечення.

Після підбору всіх компонентів, система була промодельована у Fritzing [31]. Результат моделювання представлено на рис. 3.4.

Fritzing – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом, яке використовується для розробки електронних схем та прототипів. Воно спеціально розроблене для полегшення роботи з Arduino, але може використовуватися і для інших проєктів. Fritzing має простий у використанні інтерфейс, який робить його доступним як для новачків, так і для досвідчених користувачів.

Ключові особливості Fritzing:

- має велику бібліотеку електронних компонентів, Компоненти включають мікроконтролери, датчики, резистори, конденсатори, транзистори та багато іншого. Також можна імпортувати власні компоненти;
- може перевірити схему на наявність помилок, таких як коротке замикання та незадіяні виводи;

- може генерувати 3D-модель схеми, що дозволяє візуалізувати її в реалістичному вигляді;
- може генерувати файли Gerber, які можна використовувати для створення друкованих плат (PCB) схеми.

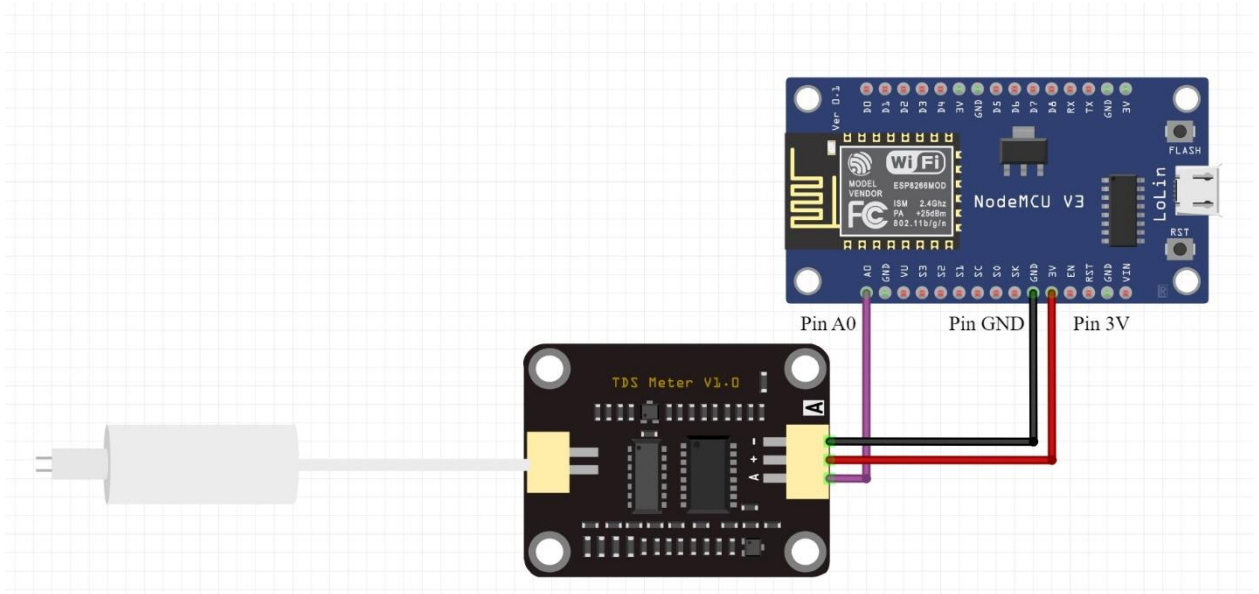


Рисунок 3.4 – Модель системи дистанційної передачі даних щодо якості води

Для моделювання було імпортовано плату та датчик, так як в стандартних наборах вони відсутні.

Опис підключення компонентів моделі на рис. 3.4:

- пін A0: використовується для підключення аналогового виходу датчика TDS до плати NodeMCU v3 ESP8266;
- пін 3 В: використовується для живлення датчика TDS;
- пін GND: використовується заземлення датчика.

Після розробки моделі, датчик було підключено та перевірено працездатність. Зібраний прототип системи дистанційної передачі даних щодо якості води зображена на рис. 3.5.

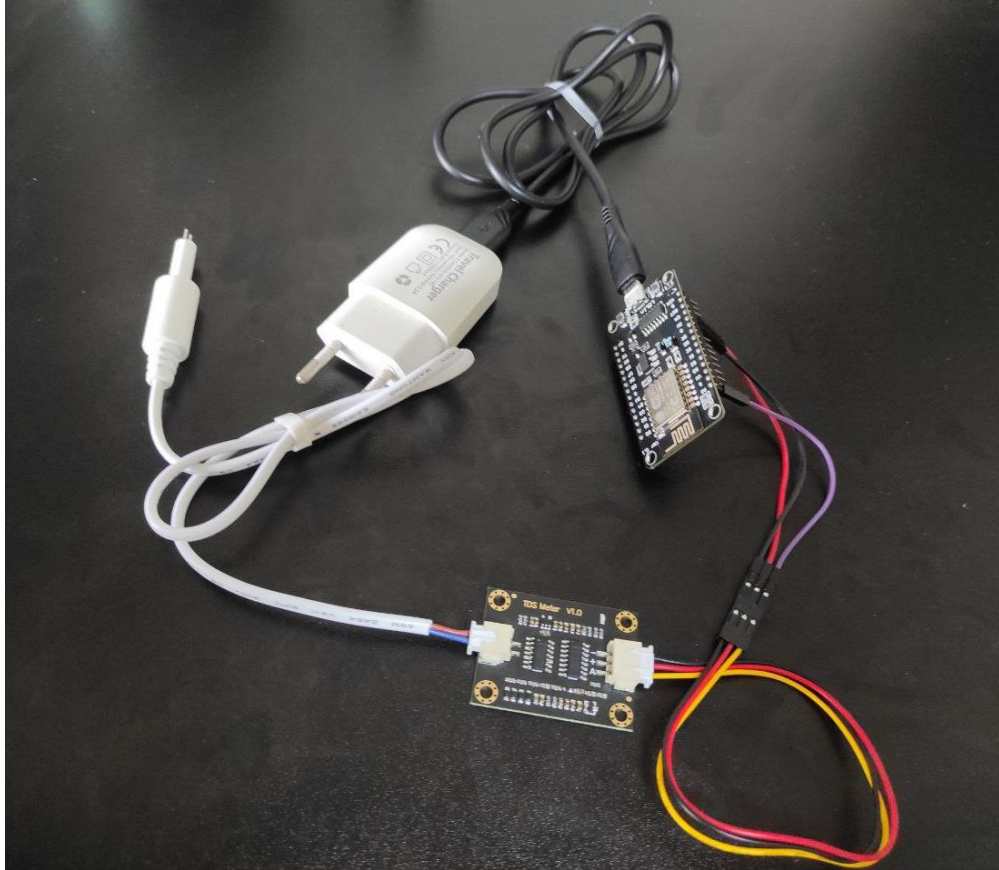


Рисунок 3.5 – Прототип системи дистанційної передачі даних  
щодо якості води

Згідно моделі на рис. 3.4, датчик було підключено до відповідних пінів плати. Також було підключено живлення для системи у вигляді кабелю micro-USB з можливістю передачі даних та блок живлення.

### 3.1.2 Розробка програмної частини

Розробка програмної частини системи включає в себе наступні кроки:

- підключення системи до комп'ютера: використовуючи кабель micro-USB під'єднати плату (рис. 3.1) до порту USB на комп'ютері. Також необхідно встановити драйвер для чипа CH340G, щоб комп'ютер розпізнав плату;
- ініціалізація плати у середовищі Arduino IDE: потрібно встановити бібліотеку для роботи з ESP8266, обрати необхідну плату та порт;

– програмування мікроконтролера та датчика: необхідно написати програму відповідну до алгоритму зображеному на рис. 2.6;

– завантаження програми на мікроконтролер: після написання програми, в Arduino IDE обрати завантаження програми на контролер.

Спершу вже зібрану систему було підключено до порту USB на комп'ютері та встановлено відповідний драйвер (рис. 3.6).

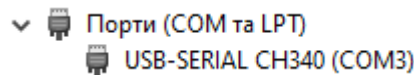


Рисунок 3.6 – Порт до якого підключена плата

У середовищі Arduino IDE було додане посилання на файл конфігурації, щоб отримати доступ до платформи ESP8266 у списку підтримуваних плат (рис. 3.7).

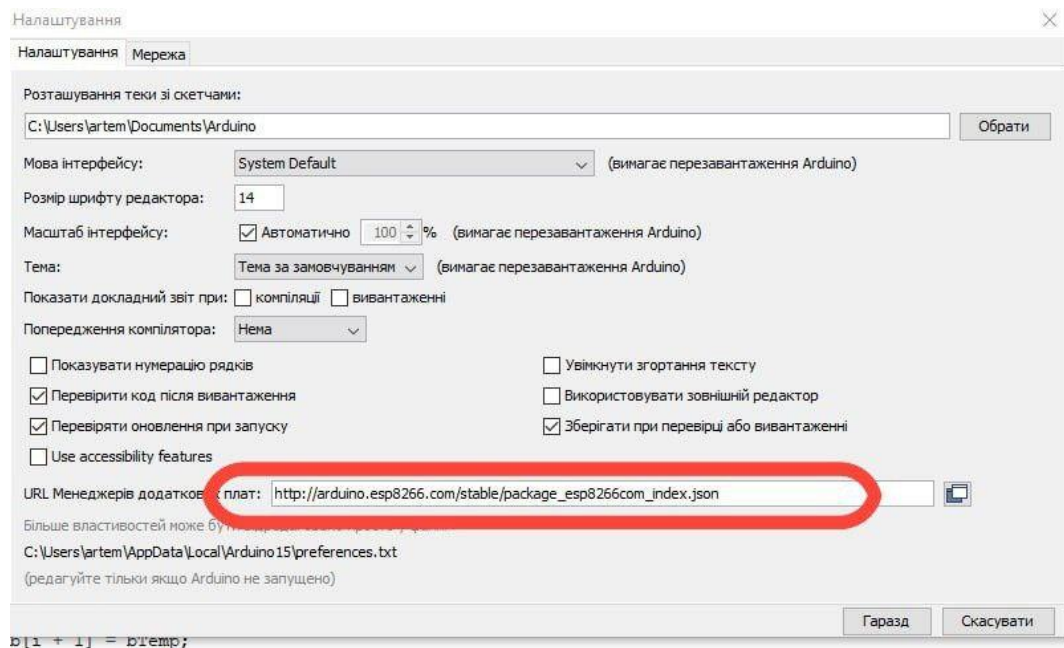


Рисунок 3.7 – Посилання на файл конфігурації ESP8266

В інструментах вибрана плата NodeMCU та порт COM3 (рис. 3.8).



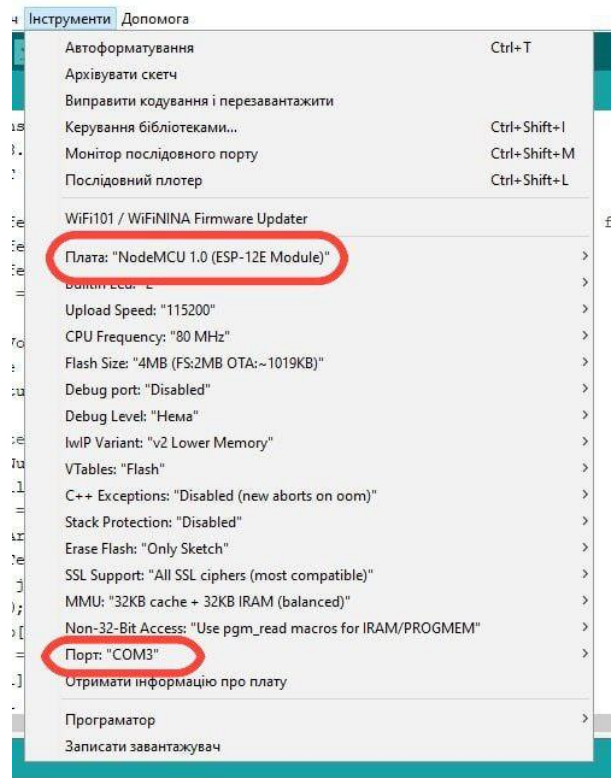


Рисунок 3.8 – Налаштування плати NodeMCU

Після завершення налаштування плати було розпочато розробку програми.

Зазвичай ПЗ для ESP8266 має таку структуру:

- визначення бібліотек: першим кроком у створенні програми для ESP8266 є визначення необхідних бібліотек. Це зазвичай робиться за допомогою директиви `#include` у верхній частині коду;

- визначення змінних: після бібліотек зазвичай визначають глобальні змінні, такі як інформація про Wi-Fi мережу, піни датчиків, масиви для зберігання даних ,тощо;

- функція *setup*: ця функція виконується один раз при ініціалізації пристрою. В ній визначаються початкові параметри, такі як налаштування портів вводу/виводу, налаштування швидкості передачі даних через послідовний порт, ініціалізація модулів Wi-Fi, тощо;

- функція *loop*: це головний цикл програми, який виконується безперервно після завершення функції *setup*. В ньому визначається основна

програмна логіка, яка відтворюється в нелінійному режимі, наприклад, зчитування даних з сенсорів, керування виводами GPIO, передача даних через Wi-Fi, тощо.

– користувачькі функції: реалізація логіки окремо від функції *loop*, для спрощення та структуризації коду. Це можуть бути функції для зчитування даних з конкретних сенсорів, обробки даних, керування пристроями, обробки подій та інші;

Розробку ПЗ для системи моніторингу якості води можна поділити на 3 етапи:

- підключення мікроконтролера до маршрутизатора;
- робота з датчиком: ініціалізація, зчитування та обробка показань;
- інтеграція з платформою Blynk.

Для підключення системи до маршрутизатора використовується бібліотека «ESP8266WiFi.h». Змінні «ssid» та «password» зберігають SSID (ім'я) та пароль Wi-Fi мережі (рис. 3.9). Вони будуть використовуватися для підключення до маршрутизатора.

```
char ssid[] = "*****";  
char password[] = "*****";
```

Рисунок 3.9 – Змінні для підключення до маршрутизатора

Ініціалізація підключення до Wi-Fi мережі та серверу Blynk відбувається за допомогою функції *Blynk.begin*, яка приймає три параметри: токен автентифікації, SSID та пароль Wi-Fi мережі (рис. 3.10). Ця функція автоматично встановлює з'єднання з вказаною Wi-Fi мережею та сервером Blynk.

```
Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, password);
```

Рисунок 3.10 – Функція підключення до Wi-Fi

Для роботи з датчиком якості води використовується аналоговий вхід мікроконтролера, що визначається як «TDS\_SENSOR\_PIN» (рис. 3.11). Змінна «VREF» задає напругу, що дорівнює 3.3 В, яка використовується для коректного визначення напруги на аналоговому вході. Змінна «SAMPLE\_COUNT» визначає кількість показань, які будуть зчитані для подальшого оброблення (рис. 3.11).

```
#define TDS_SENSOR_PIN A0  
#define VREF 3.3  
#define SAMPLE_COUNT 30
```

Рисунок 3.11 – Змінні для TDS датчика

Для зберігання зчитаних значень використовується масив «analogValues» розміром «SAMPLE\_COUNT». Масив «analogValuesTemp» використовується для тимчасового зберігання скопійованих значень перед обробкою. Індекс «analogIndex» вказує на поточне місце запису у масиві «analogValues», а індекс «tempIndex» використовується для ітерації під час обробки даних. Додатково визначені змінні «averageVoltage», «tdsValue» та «temperature». «averageVoltage» зберігає середнє значення напруги, «tdsValue» зберігає розраховане значення TDS, а «temperature» зберігає поточне значення температури, яке вказується вручну за відсутності датчика температури (рис. 3.12).

```
int analogValues[SAMPLE_COUNT];  
int analogValuesTemp[SAMPLE_COUNT];  
int analogIndex = 0;  
int tempIndex = 0;  
float averageVoltage = 0;  
float tdsValue = 0;  
float temperature = 25;
```

Рисунок 3.12 – Змінні для роботи з показаннями датчика

Зчитування показань з датчика відбувається у функції *readSensorToBuffer*. Функція *analogRead* зчитує напругу з аналогового входу

«TDS\_SENSOR\_PIN». Зчитані значення зберігаються у масиві «analogValues», розмір якого визначається змінною «SAMPLE\_COUNT». Індекс масиву, де зберігається чергове значення, визначається змінною «analogIndex», яка інкрементується після кожного зчитування. Якщо індекс досягає значення «SAMPLE\_COUNT», він обнуляється, що дозволяє циклічно зберігати нові зчитані значення (рис. 3.13).

```
void readSensorToBuffer() {  
    analogValues[analogIndex] =  
        analogRead(TDS_SENSOR_PIN);  
    analogIndex++;  
    if (analogIndex == SAMPLE_COUNT) {  
        analogIndex = 0;  
    }  
}
```

Рисунок 3.13 – Функція зчитування показань датчика *readSensorToBuffer*

Обробка зчитаних показань включає у себе фільтрацію даних та розрахунок середнього значення напруги. Спочатку в циклі відбувається копіювання зчитаних значень датчика у тимчасовий масив.

Для фільтрації показників використовується функція *getMedianValue*. Ця функція спочатку копіює значення з основного масиву в тимчасовий масив «sortedArray». Потім сортує його методом бульбашкового сортування. Після сортування виконується обчислення медіанного значення. Спочатку перевіряється, чи є кількість елементів у масиві непарною. Якщо кількість елементів непарна, медіанним значенням буде середній елемент масиву. Якщо ж кількість елементів парна, медіанним значенням буде середнє арифметичне двох середніх елементів масиву (рис. 3.14)

```
int getMedianValue(int array[], int length) {
    int sortedArray[length];
    for (byte i = 0; i < length; i++)
        sortedArray[i] = array[i];
    int i, j, temp;
    for (j = 0; j < length - 1; j++) {
        for (i = 0; i < length - j - 1; i++) {
            if (sortedArray[i] > sortedArray[i + 1]) {
                temp = sortedArray[i];
                sortedArray[i] = sortedArray[i + 1];
                sortedArray[i + 1] = temp;
            }
        }
    }
    if ((length & 1) > 0) {
        temp = sortedArray[(length - 1) / 2];
    }
    else {
        temp = (sortedArray[length / 2]
            + sortedArray[length / 2 - 1]) / 2;
    }
    return temp;
}
```

Рисунок 3.14 – Функція медіанного сортування *getMedianValue*

Відфільтроване значення середньої напруги зберігається у змінній «averageVoltage».

Після цього проводиться температурна компенсація зчитаного значення. Значення  $1.00 + 0.02 * (temperature - 25.00)$  враховує зміну електропровідності води в залежності від температури. Якщо температура більша за 25 °С, компенсаційний коефіцієнт буде більшим за 1.0; якщо менша – то меншим. Це дозволяє скоригувати зчитане значення напруги з урахуванням температурних змін. Скориговане значення напруги розраховується діленням середнього значення напруги на температурний коефіцієнт (рис. 3.15).

```
float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02
    * (temperature - 25.0);
float compensatedVoltage = averageVoltage
    / compensationCoefficient;
```

Рисунок 3.15 – Температурна компенсація показань датчика

За допомогою рівняння, значення напруги перетворюється в значення TDS (рис. 3.16). Всі рівняння для отримання значення TDS взяті з документації розробників датчику, так як формули та коефіцієнти були визначені шляхом експериментів і калібрування датчика [27].

```
tdsValue = (133.42 * compensatedVoltage  
* compensatedVoltage * compensatedVoltage  
- 255.86 * compensatedVoltage  
* compensatedVoltage + 857.39  
* compensatedVoltage) * 0.5;
```

Рисунок 3.16 – Розрахунок значення TDS

Наступним етапом є Інтеграція з платформою Blynk. Цей етап включає в себе налаштування підключення до сервера Blynk, передачу даних з датчиків на платформу та відображення цих даних у застосунку Blynk.

Спочатку було визначено параметри підключення до платформи Blynk, зокрема, ID шаблону, його назва та токен аутентифікації (рис. 3.17).

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "*****" "  
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "*****"  
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "*****" "
```

Рисунок 3.17 – Визначення параметрів підключення до Blynk

У функції *setup* ініціалізується серійний порт для відлагодження, задається режим роботи піну, та виконується підключення до Wi-Fi та Blynk серверу за допомогою функції *Blynk.begin* (рис. 3.18).

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(TDS_SENSOR_PIN, INPUT);  
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, password);  
  readTimer.setInterval(40, readSensorToBuffer);  
  uploadTimer.setInterval(1000, uploadDataToServer);  
  chartTimer.setInterval(1000,  
    uploadDataToServerForChart);  
}
```

Рисунок 3.18 – Функція *setup* для ініціалізації пристрою

Для передачі даних з датчиків на платформу Blynk використовуються віртуальні піни. Віртуальні піни дозволяють передавати дані з мікроконтролера на сервер Blynk та відображати їх у застосунку користувача.

У функції *uploadDataToServer* після обробки зчитаних даних з датчика, значення TDS передається на віртуальний пін V0 за допомогою функції *Blynk.virtualWrite*. Якщо значення датчика перевищує 500, в застосунок користувача відправляється відповідне повідомлення. Також оброблені значення датчика виводяться у Serial Monitor для контролю показників у консолі ArduinoIDE (рис. 3.19).

```
void uploadDataToServer() {
  processTDSSensorData();
  if (tdsValue > 500) {
    Blynk.logEvent("exceeding_tds_norm");
  }
  Serial.print("TDS Value: ");
  Serial.print(tdsValue, 0);
  Serial.println(" ppm");
  Blynk.virtualWrite(V0, tdsValue);
}
```

Рисунок 3.19 – Функція *uploadDataToServer* для відправки даних на сервер

У функції *uploadDataToServerForChart* значення TDS передається на віртуальний пін V1 для відображення показань у вигляді графіка (рис. 3.20).

```
void uploadDataToServerForChart() {
  processTDSSensorData();
  Blynk.virtualWrite(V1, tdsValue);
}
```

Рисунок 3.20 – Функція *uploadDataToServerForChart* відправки даних для графіка на сервер

Для регулярного зчитування даних з датчика та їх передачі використовуються таймери «BlynkTimer». Таймери налаштовуються у

функції *setup* (рис. 3.18), де задаються інтервали виконання відповідних функцій (рис. 3.21).

```
BlynkTimer readTimer;  
BlynkTimer uploadTimer;  
BlynkTimer chartTimer;
```

Рисунок 3.21 – Ініціалізація таймерів «BlynkTimer»

У основному циклі *loop* виконується обробка подій Blynk та запуск таймерів (рис. 3.22).

```
void loop() {  
  Blynk.run();  
  readTimer.run();  
  uploadTimer.run();  
  chartTimer.run();  
}
```

Рисунок 3.22 – Основний цикл *loop*

Лістинг повної програми представлено у додатку Б.

Під час написання коду для інтеграції мікроконтролеру з Blynk, також було створено мобільний застосунок, в який передаються дані з датчика. Спочатку було створено шаблон (рис. 3.23). В ньому задаються налаштування імені застосунку, його опису та устаткування з типом підключення.

ІМ'Я  
System of Remote Water Quality Monitoring

УСТАТКУВАННЯ ESP8266 ТИП ПІДКЛЮЧЕННЯ WiFi

ОПИС ШАБЛОНУ (НЕОБОВ'ЯЗКОВО)  
System of remote transmission of data on water quality in the centralized water supply system

Рисунок 3.23 – Налаштування шаблону застосунку Blynk



Далі налаштовано потоки даних, до яких прив'язано віртуальні піни (рис. 3.24). Якраз ці піни використовуються в програмі мікроконтролеру для передачі даних у застосунок.




Id	Ім'я	Псевдонім	Колір	Пін	Тип даних	Оди...	"Сирі...	Мінімум	Максимум
1	TDS Value	TDS Value		V0	Ціле число	ppm	false	0	1000
2	Chart V1	Chart V1		V1	Ціле число	ppm	false	0	1000

Рисунок 3.24 – Налаштування потоків даних застосунку Vlynk

Також налаштовано подію, яка відображається у застосунку користувача, при перевищенні показань датчика. (рис. 3.25).

НАЗВА ПОДІЇ  КОД ПОДІЇ  

ТИП  
 Інформація  Увага  Критичні  Контент

ОПИС (НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО)

Рисунок 3.25 – Налаштування події застосунку Vlynk

Всі інші налаштування відбувались вже в мобільному застосунку Vlynk. По шаблону було створено сам застосунок (рис. 3.26).

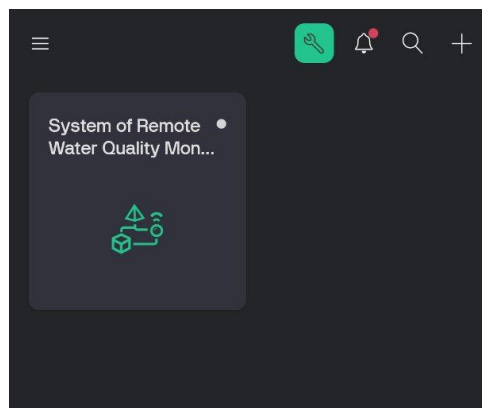
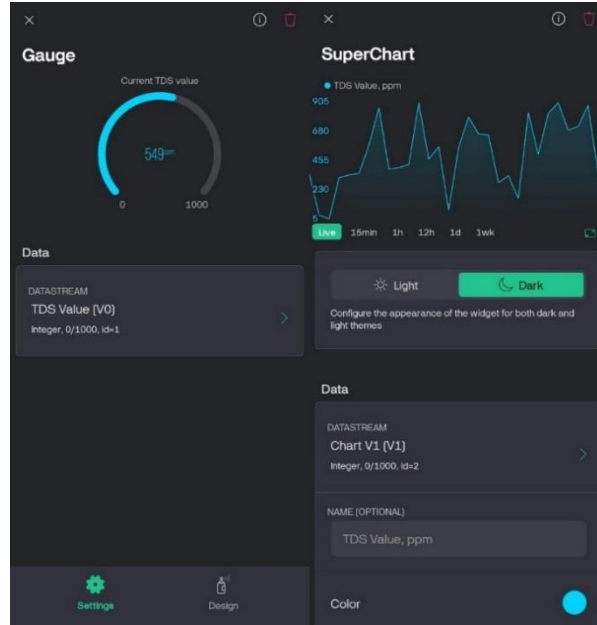


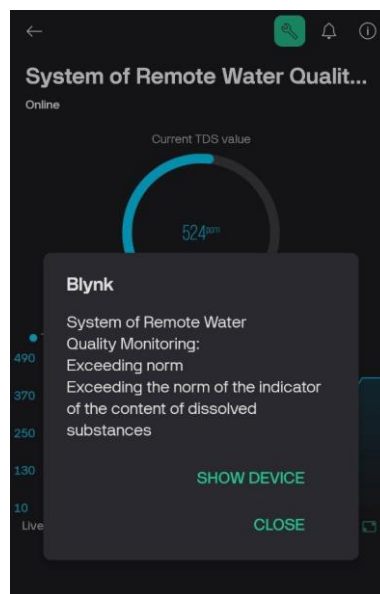
Рисунок 3.26 – Створений мобільний застосунок Vlynk

Також додано віджети для відображення поточного показника TDS та графік для відслідковування змін показань. І підключено ці віджети до відповідних віртуальних пінів (рис. 3.27).



Риснунок 3.27 – Вибір віртуальних пінів для віджетів Blynk

При перевищенні показника TDS, в застосунку відповідне виводиться повідомлення, яке представлено на рис. 3.28.



Рисункук 3.28 – Повідомлення в мобільному додатку про перевищення показника TDS

Остаточний вигляд застосунку з віджетами зображно на рис. 3.29.

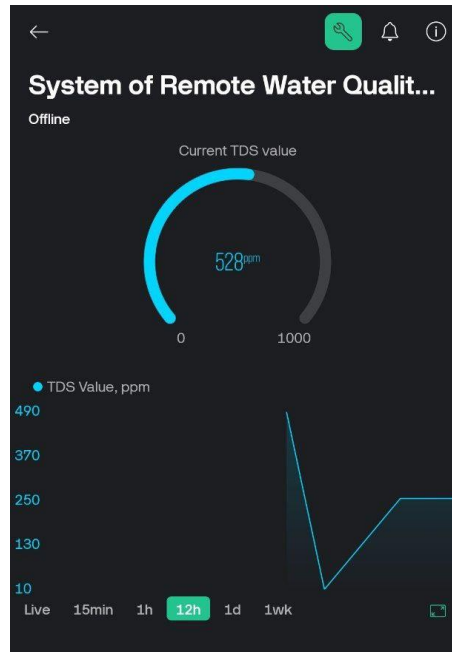


Рисунок 3.29 – Мобільний застосунок моніторингу якості води на платформі Vlynk з віджетами

Таким чином за допомогою платформи Vlynk було створено мобільний застосунок для віддаленого моніторингу якості води, який відображає всю необхідну інформацію.

Отже, розробка апаратної частини базувалася на функціональній схемі системи, яка включала плату з мікроконтролером NodeMCU v3 ESP8266, датчик вмісту розчинених речовин у воді та інші необхідні компоненти.

Розробка програмного забезпечення здійснювалася паралельно з проєктуванням апаратної частини. Програмування мікроконтролера включало реалізацію алгоритму роботи системи (рис. 2.6), що забезпечило необхідну функціональність для збору та обробки даних з датчика.

### 3.2 Тестування

Тестування апаратного забезпечення – це процес оцінки функціональності та надійності апаратних компонентів перед їхнім введенням

у експлуатацію. Метою тестування є виявлення дефектів, забезпечення відповідності технічним вимогам і стандартам, а також перевірка надійності роботи в різних умовах.

### 3.2.1 Тестування підключення системи до серверу та передачі даних

При підключенні живлення системи, в мобільному застосунку повинні відобразитись статус «Online» та оновитись дані з датчика.

Тест 1 (завідомо некоректні дані для підключення):

- назва Wi-Fi мережі та пароль для підключення до маршрутизатору «test»;
- система підключена до електромережі блоком живлення та присутня індикація роботи контролера;
- статус системи в застосунку відображається як «Offline». (рис. 3.30).

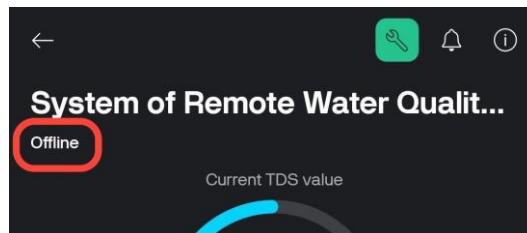


Рисунок 3.30 – Статус системи в мобільному застосунку – «Offline»

Таким чином, бачимо, що при використанні некоректних даних для підключення до маршрутизатора, система не може встановити з'єднання з маршрутизатором та сервером. Хоча система підключена до електромережі і індикація роботи контролера присутня, статус системи в мобільному застосунку залишається «Offline» (рис. 3.30). Це підтверджує, що правильність даних для підключення є критичною умовою для успішного з'єднання системи з сервером та оновлення даних з датчика.

Тест 2 (коректні дані для підключення):

- назва Wi-Fi мережі та пароль для підключення до маршрутизатору правильні;

- система підключена до електромережі блоком живлення та присутня індикація роботи контролера;
- статус системи в застосунку відображається як «Online». (рис. 3.31).

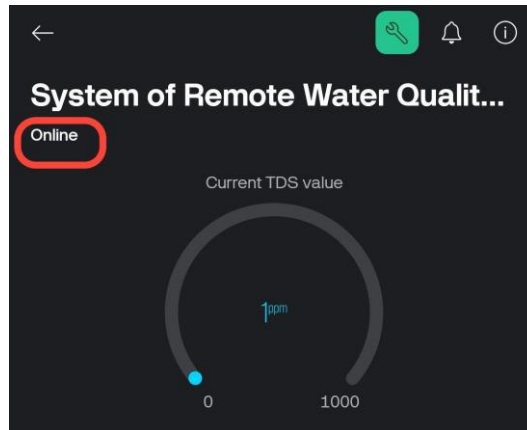


Рисунок 3.31 – Статус системи в мобільному додатку – «Online»

При використанні правильних даних для підключення до маршрутизатору, з'єднання з системою у застосунку змінюється на «Online» (рис. 3.31). Система успішно встановила зв'язок з сервером і готова до передачі даних.

Також оновився показник TDS. Це свідчить про те, що дані з датчика були успішно відправлені у застосунок і тепер відображають актуальні дані.

### 3.2.2 Тестування аналізу якості води системою

Для демонстрації роботи системи дистанційної передачі даних щодо якості води було проведено 3 тести. Для кожного тесту було обрано різні зразки води: питна вода зі свердловини (додатково очищена), така ж питна вода але з додаванням харчової солі, вода з системи централізованого водопостачання. Зразки зображені на рис. 3.32.



Рисунок 3.32 – Зразки води для аналізу вмісту розчинених речовин

Під час аналізу першого зразка (питна вода зі свердловини) було отримано значення 89 ppm (рис. 3.33). Це свідчить про низький рівень розчинених речовин, що є очікуваним для додатково очищеної питної води.

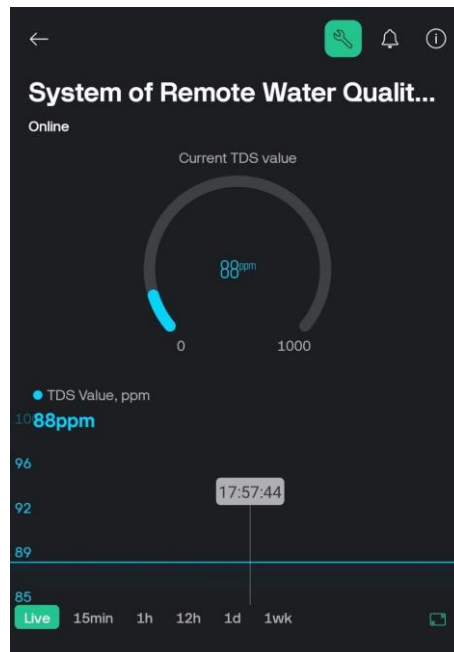


Рисунок 3.33 – Результат аналізу питної води в мобільному застосунку

Аналіз другого зразка (питна вода зі свердловини з додаванням харчової солі) показав середнє значення у 594 ppm (рис. 3.34). Таке підвищення рівня розчинених речовин є нормальним, враховуючи додавання солі.

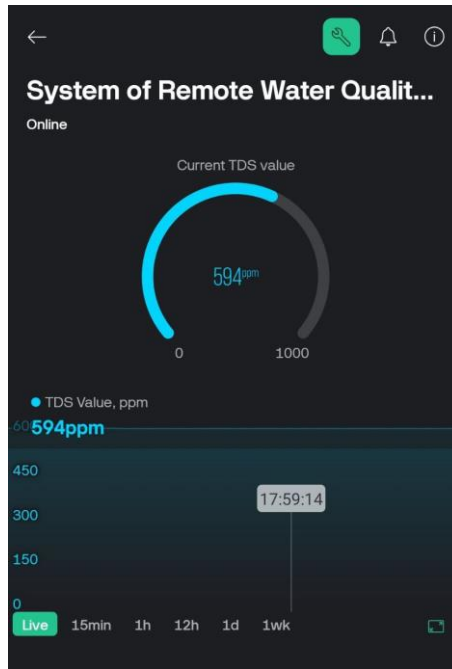


Рисунок 3.34 – Результат аналізу води з сіллю в мобільному застосунку

Під час аналізу третього зразка (вода з системи централізованого водопостачання) було отримано середнє значення 536 ppm (рис. 3.35). Це значення відображає великий вміст різних домішок у воді.

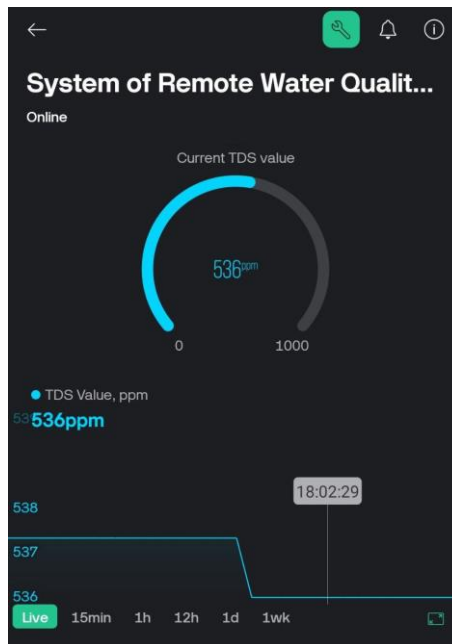


Рисунок 3.35 – Результат аналізу води з водопроводу в мобільному застосунку

Порівняння результатів аналізу води представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння результатів аналізу різних зразків води

Тип води	Рівень розчинених речовин, ppm	Примітки
Питна вода зі свердловини (додатково очищена)	89	Низький рівень розчинених речовин
Питна вода зі свердловини з харчовою сіллю	594	Високий рівень розчинених речовин через додавання солі
Вода з системи централізованого водопостачання	536	Високий рівень домішок

Для порівняння рівня розчинених речовин у різних зразках води були використані дані норми рівня TDS, наведені в табл. 2.3. Підсумкові висновки щодо кожного зразка [3]:

- 1) питна вода зі свердловини (додатково очищена):
  - а) значення TDS: 89 ppm;
  - б) класифікація за табл. 2.3: середньої жорсткості;
  - в) висновок: значення TDS у цьому зразку води знаходиться в межах норми для води середньої жорсткості. Це відповідає очікуванням для додатково очищеної питної води, що свідчить про її високу якість та безпечність для вживання;
- 2) питна вода зі свердловини з додаванням харчової солі:
  - а) значення TDS: 594 ppm;
  - б) класифікація за табл. 2.3: вищий за гранично допустиму жорсткість;
  - в) висновок: значення TDS у цьому зразку значно перевищує гранично допустиму жорсткість (500 ppm). Додавання харчової солі призвело до значного збільшення рівня розчинених речовин, що робить цю воду непридатною для вживання через надмірну жорсткість;



- 3) вода з системи централізованого водопостачання:
- а) значення TDS: 536 ppm;
  - б) класифікація за табл. 2.3: вищий за гранично допустиму жорсткість;
  - в) висновок: значення TDS у цьому зразку також перевищує гранично допустиму жорсткість (500 ppm). Це вказує на високий рівень домішок у воді з централізованої системи водопостачання, що може свідчити про недостатню ефективність очистки води у системі водопостачання та може бути небезпечним для вживання.

Порівняння трьох зразків води показало, що лише додатково очищена питна вода зі свердловини відповідає нормам якості для питної води, маючи рівень розчинених речовин у межах 89 ppm, що класифікується як вода середньої жорсткості.

Інші два зразки, які мають значення TDS у 594 ppm (питна вода зі свердловини з додаванням солі) та 536 ppm (вода з централізованого водопостачання), перевищують гранично допустиму жорсткість і можуть бути непридатними для постійного споживання без додаткової очистки.

### **3.3 Оцінка ефективності та можливості подальшого вдосконалення системи**

Впровадження розробленої системи дистанційного моніторингу якості води забезпечує зчитування даних та їх бездротову передачу, що є ключовим для моніторингу в реальному часі.

Практичні тести підтвердили коректну роботу системи, що свідчить про її надійність. Це дозволяє зробити висновок, що система готова до застосування в реальних умовах для моніторингу якості води.

Попри високу ефективність, є кілька напрямків для подальшого вдосконалення системи. Можна розглянути використання додаткових датчиків для вимірювання інших показників якості води, таких як рівень рН,

температура, концентрація розчиненого кисню та інші хімічні параметри. Це дозволить створити більш комплексну систему моніторингу.

Також можливо вдосконалити програмне забезпечення, зокрема додати функції автоматичного калібрування датчиків. Це підвищить точність і надійність вимірювань.

Також варто розглянути питання енергоефективності. Використання сонячних панелей або інших джерел відновлюваної енергії може забезпечити автономність системи.

### **Висновки до розділу 3**

Розробка системи дистанційного моніторингу якості води охоплює комплексний підхід, який включає проектування апаратної частини, розробку програмного забезпечення, інтеграцію та оптимізацію.

Апаратна частина базується на платформі NodeMCU v3 ESP8266 з використанням датчика TDS, що дозволяє бездротово передавати дані. Система була промодельована у Fritzing для перевірки та візуалізації підключень.

Програмне забезпечення створювалося в середовищі Arduino IDE, де проводилось налаштування плати NodeMCU, написання програми для мікроконтролера та її завантаження. Програма включає визначення бібліотек, змінних, функції для початкової ініціалізації та основної логіки роботи.

Інтеграція з платформою Blynk дозволила передавати дані на сервер та відображати їх у мобільному застосунку в реальному часі.

Прототип системи було успішно зібрано та протестовано, що підтвердило правильність обраного підходу та можливість його подальшого використання в реальних умовах.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було розроблено апаратно-програмне забезпечення для дистанційного моніторингу якості води, що включає мікроконтролер ESP8266, датчик рівня розчинених твердих речовин, джерело живлення, з'єднувальні компоненти та програмне забезпечення на платформі Blynk.

Досягнута поставлена мета – підвищення ефективності роботи централізованої системи водопостачання. Зазначену мету досягнуто завдяки розв'язанню наступних задач:

- проаналізовано існуючі методи та засоби контролю якості води в системах централізованого водопостачання;
- обґрунтовано необхідність впровадження системи дистанційної передачі даних про якість води;
- спроектовано та розроблено апаратну та програмну частини системи дистанційної передачі даних;
- проведено тестування розробленої системи та проаналізувати отримані результати;
- оцінено ефективність впровадження розробленої системи.

Розроблена система повністю відповідає поставленим у завданні вимогам щодо моніторингу якості води. Вона забезпечує точність вимірювань, надійність передачі даних та простоту у використанні. Усі необхідні компоненти та технології були успішно інтегровані, що дозволило досягти високого рівня функціональності системи.

Порівняння розробленої системи дистанційного моніторингу якості води з аналогами показало її певні переваги. Система забезпечує безперервний моніторинг у режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на відхилення від норми та забезпечувати високий рівень якості води. Відмінність полягає у використанні сучасних мікроконтролерів і датчиків, що дозволяє досягти високої точності вимірювань та надійності передачі даних.

Система є актуальною завдяки інтеграції новітніх технологій дистанційного моніторингу та використанню сучасних методів обробки даних. Особливо варто відзначити розробку алгоритму роботи системи, який дозволяє безперервно збирати та аналізувати дані, надаючи користувачеві своєчасні попередження про будь-які відхилення.

Практичне значення результатів роботи полягає у забезпеченні якісного контролю за станом води в системах централізованого водопостачання. Це важливо як для комунальних служб, так і для підприємств, що використовують воду у своїй діяльності.

Подальший розвиток системи може включати інтеграцію додаткових датчиків для моніторингу інших показників якості води, а також розширення функціональності програмного забезпечення для детальнішого аналізу даних. Також можливе впровадження системи в інших сферах, таких як сільське господарство або промисловість, де контроль якості води є критичним важливим.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шадура В. О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2018. 343 с.
2. Ehteram M., Ahmed A. N., Sherif M., El-Shafie A. An advanced deep learning model for predicting water quality index. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 160. P 1–24. DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.111806.
3. Edzwald J. K. *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water*. 6th ed. New York : McGraw Hill Professional. 2011. 1696 pages. ISBN: 978-0-07-163010-8.
4. Gardner G., Sampson G. S. Groundwater quality vs. groundwater quantity. Combining information on irrigator concerns with past water use and cropping behavior. *Water Resources and Economics*. 2024. Vol. 47. DOI: 10.1016/j.wre.2024.100246.
5. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [Чинний від 23-10-2014]. Київ, 2014. 9 с. (Стандарт Мінекономрозвитку України).
6. Banadkooki F. B., Ehteram M., Panahi F., Sammen S. Sh., Othman F. B., EL-Shafie A. Estimation of total dissolved solids (TDS) using new hybrid machine learning models. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 587. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124989.
7. TDS Метр COM-100 (+EC). URL: <https://www.umax.pro/?product=tds-%d0%bc%d0%b5%d1%82%d1%80-com-100-ec> (дата звернення: 07.05.2024).
8. Tantray J. A., Mansoor S., Wani R. F., Un Nissa N. pH meter: Its use and calibration. *In book: Basic Life Science Methods*. Academic Press. 2023. Ch. 3, P. 9–10. DOI: 10.1016/B978-0-443-19174-9.00003-9.
9. Лабораторний рН-метр (з електродом 9625-10D) HORIBA LAQUA-PH1500-SR. URL: <https://simvolt.ua/laboratorniy-ph-metr-z-elektrodom-9625-10d-horiba-laqua-ph1500-sr/> (дата звернення: 07.05.2024).

10. Luo M., Wang Q. A reflective optical fiber SPR sensor with surface modified hemoglobin for dissolved oxygen detection. *Alexandria Engineering Journal*. 2021. Vol. 60, Is. 4. P. 4115–4120. DOI: 10.1016/j.aej.2020.12.041.
11. Optical Dissolved Oxygen Sensors DO71/DO72. URL: <https://www.yokogawa.com/solutions/products-and-services/measurement/analyzers/liquid-analyzers/dissolved-oxygen-sensors/optical-dissolved-oxygen-sensor-do71-do72/> (Last accessed: 07.05.2024).
12. Sampedro O., Salgueiro J. R. Turbidimeter and RGB sensor for remote measurements in an aquatic medium. *Measurement*. 2015. Vol. 68. P. 128-134. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.02.049.
13. Мутномір, Турбідиметр нефелометричний EUTECH TN 100. URL: <https://spectrolab.com.ua/ua/p17383254-mutnomer-turbidimetr-nefelometrisheskij.html> (дата звернення: 07.05.24).
14. Remote Water Quality Monitoring: Where We Are and How We Got Here. URL: <https://www.badgermeter.com/en-gb/blog/remote-water-quality-monitoring-evolution/> (Last accessed: 09.05.2024).
15. Solis M., Bashar S. B. Social equity implications of advanced water metering infrastructure. *Utilities Policy*. 2022. Vol. 79. DOI: 10.1016/j.jup.2022.101430.
16. Stoian I., Capatina D., Ghiran O., Ignat S. Aspect of SCADA Cooperation for Efficient Hydropower and Water Management. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. Vol. 46, Is. 6. P. 159-164. DOI: 10.3182/20130522-3-RO-4035.00032.
17. Automated remote water quality monitoring system with wireless communication capabilities and the method thereof : patent 12757207 United States of America : G08C 19/16 ; applied on 09.04.2010 ; published on 19.05.2011, Bulletin no. B2. URL: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73241677&\\_cid=P10-LWQCL3-69056-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73241677&_cid=P10-LWQCL3-69056-1) (Last accessed: 09.05.2024).

18. Lakshmikantha V., Hiriyannagowda A., Manjunath A., Patted A., Basavaiah J., Anthony A. A. IoT based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings*. 2021. Vol. 2, Is. 2. P. 181–186. DOI: 10.1016/j.gltp.2021.08.062.
19. YIERYI Smart Bluetooth Water Quality Tester 6 in 1 PH/ TDS/ EC/ Salinity/ S.G./ Temp Meter WiFi APP Intelligent Control. URL: <https://shop.yieryimeters.com/products/yieryi-smart-bluetooth-water-quality-tester-6-in-1-ph-tds-ec-salinity-s-g-temp-meter-wifi-app-intelligent-control> (Last accessed: 10.05.2024).
20. WQM-397 Smart 5-in-1 pH / TDS / Salt / S.G / Temperature WiFi Tester Water Quality for Drinking Supply Aquarium Hydroponics Pool Aquaculture. URL: <https://www.gainexpress.com/products/wqm-397> (Last accessed: 10.05.2024).
21. Тестер якості води 6 в 1 WiFi online pH TDS EC. URL: [https://vroda.co.ua/ua/product/tester-yakosti-vodi-6-v-1-wifi-online-ph-tds-ec\\_14376715134](https://vroda.co.ua/ua/product/tester-yakosti-vodi-6-v-1-wifi-online-ph-tds-ec_14376715134) (дата звернення: 10.05.2024).
22. Контролер NodeMcu Lua WIFI V3 ESP8266. URL: <https://arduinka.biz.ua/kontroler-NodeMcu-lua-Wifi-v3-esp8266-p482c20.html> (дата звернення: 11.05.2024).
23. Датчик рівня TDS у системах водопостачання і водоочищення, акваріумах і басейнах. URL: <https://store.smart-maic.com/ua/p964326257-datchik-urovnya-tds.html> (дата звернення: 11.05.2024).
24. Провід для arduino, 20 см мама-мама, перемичка. URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1530392930-provod-dlya-arduino.html> (дата звернення: 11.05.2024).
25. Функціональна схема: основні моменти. URL: <https://presa.com.ua/navchannia/funktsionalna-skema-osnovni-momenti.html> (дата звернення: 12.05.2024).

26. NodeMCU ESP8266 Detailed Review. URL: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/> (Last accessed: 13.05.2024).
27. TDS Meter Keyestudio KS0429. URL: <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-tds-meter-v10-board-module-water-meter-filter-measuring-water-quality-for-arduino-unor3> (Last accessed: 13.05.2024).
28. ESP8266 Technical Reference. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical\\_reference\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf) (Last accessed: 13.05.2024).
29. Moeinzadeh H., Yong K. T., Withana A. A critical analysis of parameter choices in water quality assessment. *Water Research*. 2024. Vol. 258. DOI: 10.1016/j.watres.2024.121777.
30. Rady M., Iova O., Rivano H., Deligianni A., Drikos L. How does Wi-Fi 6 fare? An industrial outdoor robotic scenario. *Ad Hoc Networks*. 2024. Vol. 156. DOI: 10.1016/j.adhoc.2024.103418.
31. Platform Fritzing. URL: <https://fritzing.org/> (Last accessed: 14.05.2024).



**ДОДАТОК А**  
**Довідка**  
**про перевірку на унікальність пояснювальної записки**  
**бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:**  
**«Організація дистанційної передачі даних щодо якості води**  
**в системі централізованого водопостачання»**

студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», 405 групи  
Шевчука Артема Івановича  
прізвище, ім'я, по-батькові

Перевірку тексту здійснено сервісом: онлайн-сервіс Unicheck

Результат перевірки тексту бакалаврської кваліфікаційної роботи: схожість  
складає 3,01 %.

**UNICHECK**  
by Turnitin

Ім'я користувача: Катерина Обухова  
Дата перевірки: 09.06.2024 01:10:34 EEST  
Дата звіту: 09.06.2024 01:31:21 EEST

ID перевірки: 1016336894  
Тип перевірки: Doc vs Internet  
ID користувача: 100013588

Назва документа: Шевчук - 405 - Звіт з КБР (Unicheck)  
Кількість сторінок: 38 Кількість слів: 10886 Кількість символів: 86041 Розмір файлу: 106.56 KB ID файлу: 101613766

**3.01%**  
**Схожість**  
Найбільша схожість: 0.96% з Інтернет-джерелом ([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34880/1/Slastin\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34880/1/Slastin_bakalavr.pdf))

3.01% Джерела з Інтернету 192 Сторінка 40

Пошук збігів з Бібліотекою не проводиться

**0% Цитат**  
Вилучення цитат вимкнено  
Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

**0% Вилучень**  
Немає вилучених джерел

**Модифікації**  
Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.  
Замінені символи 5

Здобувач:

\_\_\_\_\_ А. І. Шевчук  
підпис ініціали, прізвище

Керівник:

д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ І. М. Журавська  
підпис ініціали, прізвище

Дата: «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ДОДАТОК Б

### Лістинг програми для системи дистанційного моніторингу якості води

```
// Визначення змінних для Blynk
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "*****"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "System of Remote Water Quality Monitoring"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "*****"

// Підключення бібліотек ESP8266 та Blynk
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

// Налаштування мережі WiFi
char ssid[] = "*****";
char password[] = "*****";

// Визначення пінів та констант для датчика TDS
#define TDS_SENSOR_PIN A0
#define VREF 3.3
#define SAMPLE_COUNT 30

// Масиви для зберігання аналогових значень
int analogValues[SAMPLE_COUNT];
int analogValuesTemp[SAMPLE_COUNT];
int analogIndex = 0;
int tempIndex = 0;

// Змінні для зберігання обчислених значень
float averageVoltage = 0;
float tdsValue = 0;
float temperature = 25;

// Таймери Blynk для різних задач
BlynkTimer readTimer;
```

```
BlynkTimer uploadTimer;
BlynkTimer chartTimer;

// Функція для знаходження медіанного значення в масиві
int getMedianValue(int array[], int length) {
    int sortedArray[length];
    for (byte i = 0; i < length; i++)
        sortedArray[i] = array[i];
    int i, j, temp;
    for (j = 0; j < length - 1; j++) {
        for (i = 0; i < length - j - 1; i++) {
            if (sortedArray[i] > sortedArray[i + 1]) {
                temp = sortedArray[i];
                sortedArray[i] = sortedArray[i + 1];
                sortedArray[i + 1] = temp;
            }
        }
    }
    if ((length & 1) > 0) {
        temp = sortedArray[(length - 1) / 2];
    } else {
        temp = (sortedArray[length / 2] + sortedArray[length / 2 - 1]) / 2;
    }
    return temp;
}

// Функція для обробки даних з сенсора TDS
void processTDSSensorData() {
    for (tempIndex = 0; tempIndex < SAMPLE_COUNT; tempIndex++) {
        analogValuesTemp[tempIndex] = analogValues[tempIndex];
    }
    averageVoltage = getMedianValue(analogValuesTemp, SAMPLE_COUNT) *
(float)VREF / 1024.0;
}
```

```
float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
float compensatedVoltage = averageVoltage / compensationCoefficient;

tdsValue = (133.42 * compensatedVoltage * compensatedVoltage *
compensatedVoltage
            - 255.86 * compensatedVoltage * compensatedVoltage
            + 857.39 * compensatedVoltage)
            * 0.5;
}

// Функція для зчитування даних з сенсора та збереження їх у буфері
void readSensorToBuffer() {
    analogValues[analogIndex] = analogRead(TDS_SENSOR_PIN);
    analogIndex++;
    if (analogIndex == SAMPLE_COUNT) {
        analogIndex = 0;
    }
}

// Функція для завантаження даних на сервер
void uploadDataToServer() {
    processTDSSensorData();
    if (tdsValue > 500){
        Blynk.logEvent("exceeding_tds_norm");
    }
    Serial.print("TDS Value: ");
    Serial.print(tdsValue, 0);
    Serial.println(" ppm");
    Blynk.virtualWrite(V0, tdsValue);
}

// Функція для завантаження даних на сервер для графіку
```

```
void uploadDataToServerForChart() {
    processTDSsensorData();
    Blynk.virtualWrite(V1, tdsValue);
}

// Початкова ініціалізація налаштувань
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(TDS_SENSOR_PIN, INPUT);
    Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, password);
    readTimer.setInterval(40, readSensorToBuffer);
    uploadTimer.setInterval(1000, uploadDataToServer);
    chartTimer.setInterval(1000, uploadDataToServerForChart);
}

// Основний цикл програми
void loop() {
    Blynk.run();
    readTimer.run();
    uploadTimer.run();
    chartTimer.run();
}
```