

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на
основі ESP32
Назва теми

КВРКІ 200243.21.04.82 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-21-4

Богдан
Підпис

Богдан РИЖАК
Ініціали, прізвище

Керівник

Денис 20.06.2025р
Підпис, дата

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Тетяна
Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

Ольга
Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«19» червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Рижаку Богдану Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32.

Керівник проекту (роботи) Дмитро ДЕНИСЮК, старший викладач.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2025 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз відомих методів та рішень для віддаленого моніторингу якості води у водосховищах

Вибір компонентів для системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах

Програмно-апаратна реалізація системи віддаленого моніторингу якості води у

водосховищах з використанням мікроконтролера esp32

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Схема взаємодії кіберфізичної системи

Електрично принципова схема

Алгоритм роботи програми

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для кіберфізичної системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи кіберфізичної системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Богдан РИЖАК
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32».

Автор роботи: Богдан РИЖАК.

Керівник роботи: Дмитро ДЕНИСЮК.

Пояснювальна записка: 64 с., 18 рис., 6 табл., 3 дод., 56 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

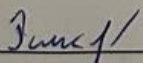
ESP32, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, АРХІТЕКТУРА, МОНІТОРИНГ,
ВОДОСХОВИЩЕ.

Метою дипломної роботи є розробка та дослідження інтелектуальної системи моніторингу якості води на базі мікроконтролера ESP32 з використанням сенсорних модулів (рН, ЕС, TDS, температури, мутності) та бездротової передачі даних (Wi-Fi, LoRa) з подальшою візуалізацією результатів на хмарній IoT-платформі.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання та аналізу фізико-хімічних параметрів водного середовища в реальному часі за допомогою вбудованих обчислювальних пристроїв і технологій Інтернету речей (IoT).

Предметом дослідження є архітектура, апаратно-програмне забезпечення та ефективність функціонування IoT-системи моніторингу якості води, побудованої на основі мікроконтролера ESP32, з урахуванням вимог до точності, надійності, автономності та відповідності екологічним стандартам.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.


Підпис студента

30.05.2025
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ	4
1.1 Актуальність проблеми забруднення водосховищ та наслідки для суспільства.....	4
1.2 Стандарти якості води в водосховищах України.....	6
1.3 Модуль ESP32.....	8
1.4 Приклади існуючих кіберфізичних систем.....	11
1.5 Висновок.....	14
2 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ	16
2.1 Технічні характеристики та можливості модуля ESP32.....	16
2.2 Давачі для створення кіберфізичної системи.....	28
2.3 Висновки.....	39
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32	40
3.1 Опис реалізації системи.....	40
3.2 Програмна та апаратна реалізація.....	46
3.3 Висновки.....	56
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТОК А	65
ДОДАТОК Б	66
ДОДАТОК В	67
ДОДАТОК Г	68

КвРКІ.200243.20.04.11 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32 Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Богдан РИЖАК	Дмитро ДЕНИСЮК		19.05.2024		у	2	64
Перевір.								
Н.контр.	Тетяна КИСІЛЬ			19.05.2024				
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА							
						ХНУ, КІ2-21-4		

ВСТУП

Забезпечення якісної питної води є однією з найважливіших екологічних та технологічних проблем сучасності. Вода є основним ресурсом для життя, промисловості та сільського господарства, тому контроль її якості у водосховищах має критичне значення. З огляду на зростаючі екологічні загрози, такі як забруднення водних ресурсів промисловими відходами, сільськогосподарськими стоками та змінами клімату, необхідність впровадження сучасних методів моніторингу стає дедалі актуальнішою.

Традиційні методи контролю якості води зазвичай передбачають лабораторний аналіз проб, що є трудомістким, дорогим та не забезпечує оперативного отримання даних. Сучасні технології дозволяють автоматизувати процеси збору та аналізу інформації, що значно підвищує ефективність контролю стану водних ресурсів.

Одним із перспективних рішень у цій сфері є застосування кіберфізичних систем на основі мікроконтролерів для віддаленого моніторингу. Зокрема, використання контролера ESP32 дає можливість розробити доступну, енергоефективну та мобільну систему, що забезпечує збір даних про основні параметри якості води в реальному часі. Така система може включати датчики для вимірювання рівня рН, температури, прозорості, електропровідності та інших показників, а отримані дані можуть передаватися через бездротові мережі для подальшого аналізу.

Метою даної дипломної роботи є розробка та реалізація кіберфізичної системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на базі ESP32, що дозволить підвищити ефективність контролю стану водних ресурсів та сприяти екологічній безпеці.

У процесі дослідження будуть розглянуті апаратні та програмні компоненти системи, методи збору та обробки даних, а також можливості інтеграції системи з існуючими платформами для моніторингу навколишнього середовища.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ

1.1 Актуальність проблеми забруднення водосховищ та наслідки для суспільства.

Стан водних ресурсів є одним із ключових показників екологічної безпеки та сталого розвитку будь-якого регіону. Якість води у водосховищах безпосередньо впливає на екологічну стабільність, стан здоров'я населення, а також ефективність функціонування низки важливих секторів економіки, зокрема енергетики, агропромислового комплексу та комунального господарства. Водночас посилення антропогенного тиску, що зумовлене інтенсивним розвитком промисловості, сільського господарства та урбанізованих територій, спричинило суттєве погіршення якості природних вод. До основних джерел забруднення водних об'єктів належать:

- промислові та побутові стоки;
- надмірне використання агрохімікатів і сільськогосподарські відходи;
- тверді побутові відходи, зокрема пластик і мікропластик;
- важкі метали, нафтопродукти й інші токсичні сполуки;
- патогенні мікроорганізми;
- наслідки надзвичайних ситуацій, зокрема техногенних аварій та військових дій.

Окрім екзогенних факторів, значну загрозу становлять і ендегенні процеси, такі як заростання водойм, явища евтрофікації, а також зміни в мікробіологічному складі водного середовища. Накопичувальний характер цих явищ призводить до поступової деградації водних екосистем, зменшення біорізноманіття та втрати функціональної спроможності водосховищ як стратегічних об'єктів водопостачання.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему проблему становлять наслідки глобальних кліматичних змін. Зокрема, підвищення середньорічної температури сприяє активному розмноженню водоростей та патогенних мікроорганізмів, а дефіцит опадів у низці регіонів призводить до зниження рівня води у водосховищах. Це, у свою чергу, створює додаткові загрози для централізованих систем водопостачання та санітарного стану населених пунктів.

Згідно з аналітичними даними Державної екологічної інспекції України, понад 70–80% водних об'єктів демонструють відхилення від встановлених нормативів якості, що свідчить про критичну ситуацію у сфері охорони водних ресурсів.

Особливої актуальності набуває розроблення та впровадження автоматизованих систем моніторингу якості води, здатних забезпечити безперервне спостереження за основними гідрохімічними параметрами в режимі реального часу.

Формування системи ефективного управління водними ресурсами в умовах екологічної нестабільності потребує застосування новітніх технологічних рішень. Зокрема, кіберфізичні системи, що базуються на використанні мікроконтролерів, сенсорних модулів і бездротових засобів зв'язку, відкривають нові можливості для гнучкого, масштабованого та доступного моніторингу стану водного середовища навіть у важкодоступних або віддалених районах.

Використання таких систем дозволяє не лише забезпечити своєчасне виявлення забруднення, але й запобігати критичним екологічним ситуаціям, зменшувати навантаження на природне середовище та сприяти формуванню відповідальної екологічної політики на місцевому та національному рівнях.

Таким чином, впровадження автоматизованих систем моніторингу водного середовища постає необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки, збереження біорізноманіття, раціонального використання водних ресурсів та захисту здоров'я населення.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Стандарти якості води в водосховищах України

У контексті забезпечення екологічної безпеки та охорони здоров'я населення, питання контролю якості води у водосховищах України має ключове значення. Національна система нормативного регулювання охоплює комплекс документів, що визначають гігієнічні, екологічні та технічні вимоги до вод залежно від їх функціонального призначення. Основними регуляторними актами у цій сфері є стандарти ДСТУ та Санітарні норми, затверджені у межах чинного законодавства.

Згідно з положеннями ДСТУ 4808:2007 «Якість води. Вимоги до поверхневих вод для питного водопостачання», встановлюються гранично допустимі концентрації хімічних речовин у воді, призначеній для централізованого господарсько-питного водопостачання. Даний стандарт відіграє фундаментальну роль у забезпеченні санітарно-хімічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для задоволення потреб населення у питній воді.

Поряд із цим, регулювання якості вод у водоймах здійснюється також відповідно до СанПіН 4630-88 «Санітарних правил і норм охорони поверхневих вод від забруднення». Зазначений документ встановлює вимоги до водних об'єктів, які експлуатуються з метою господарсько-питного, рекреаційного або рибогосподарського використання. Нормативи охоплюють широкий спектр параметрів - від фізико-хімічних до мікробіологічних - та мають на меті мінімізацію ризиків, пов'язаних із антропогенним навантаженням на водні екосистеми.

Водосховища України класифікуються за функціональним призначенням, що безпосередньо впливає на встановлення відповідних стандартів якості води. Найсуворіші нормативні вимоги стосуються об'єктів, які використовуються для питного та господарсько-побутового водопостачання. Для таких водних джерел здійснюється постійний моніторинг вмісту токсичних металів (ртуті, свинцю, кадмію), азотовмісних сполук (нітратів, нітритів, амонію), а також мікробіологічних показників - зокрема, наявності *Escherichia coli* та інших

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коліформних бактерій. Дотримання відповідних санітарних регламентів є критично важливим з огляду на необхідність запобігання виникненню водно-трансмисивних захворювань.

Для водосховищ, які використовуються у рекреаційних цілях (наприклад, для купання населення), першочергового значення набуває мікробіологічна безпека. Згідно з чинними вимогами, концентрація бактерії *Escherichia coli* не повинна перевищувати 500 колонієутворюючих одиниць на 1 дм³ води. Забезпечення таких показників є обов'язковим для збереження громадського здоров'я, особливо у періоди інтенсивного використання зон відпочинку.

Водосховища, що експлуатуються для потреб рибного господарства, підлягають контролю на предмет наявності речовин, здатних чинити токсичну дію на водну фауну. Зокрема, встановлено мінімально допустимий рівень розчиненого кисню - 4–6 мг/дм³, а також заборонено присутність сполук, що можуть пригнічувати життєдіяльність гідробіонтів. Дотримання цих вимог сприяє збереженню біорізноманіття та стабільності водних екосистем.

Варто підкреслити, що Україна послідовно інтегрує положення європейського екологічного законодавства у власну нормативну базу. Зокрема, імплементуються ключові положення Директиви 2000/60/ЄС, яка встановлює стратегічні рамки для досягнення доброго екологічного стану вод, а також Директиви 2006/118/ЄС, що регламентує якість підземних вод і частково застосовується у регулюванні якості поверхневих вод, у тому числі водосховищ.

Таким чином, система регулювання якості води у водосховищах України є багатокомпонентною, структурно цілісною та спрямованою на поступове зближення з європейськими стандартами. Вона відображає прагнення держави до формування екологічно відповідального суспільства, забезпечення сталого управління водними ресурсами та гарантування безпечного водокористування.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Модуль ESP32

У контексті розробки сучасних вбудованих систем та застосунків Інтернету речей (IoT) особливе місце посідає мікроконтролер ESP32, розроблений компанією Espressif Systems. Даний модуль є наступником популярного ESP8266, однак суттєво перевершує його як за технічними характеристиками, так і за функціональними можливостями.

Мікроконтролер ESP32 є високофункціональним та енергоефективним програмованим пристроєм, що поєднує в собі розвинуту обчислювальну архітектуру та широкі комунікаційні можливості. Основу його апаратної частини становить двоядерний процесор Tensilica Xtensa LX6, здатний працювати на частоті до 240 МГц. Така обчислювальна потужність забезпечує ефективну реалізацію як одночасних задач керування периферією, так і обробки даних у режимі реального часу.

Однією з ключових переваг мікроконтролера ESP32 є вбудована підтримка бездротових комунікаційних технологій, а саме стандарту Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n та Bluetooth версії 4.2, що охоплює як класичний BR/EDR, так і енергоефективний BLE-режим. Це робить ESP32 придатним для побудови пристроїв Інтернету речей (IoT), що потребують з'єднання з локальними мережами або мобільними додатками без використання додаткових радіомодулів.

Пристрій також оснащено вбудованою оперативною пам'яттю обсягом 520 КБ (SRAM) та можливістю підключення флеш-пам'яті до 16 МБ (залежно від конфігурації плати). Такий обсяг пам'яті дозволяє реалізовувати складні програмні алгоритми із збереженням проміжних даних.

З погляду апаратної взаємодії, ESP32 підтримує до 36 універсальних виводів GPIO, які можуть бути сконфігуровані для роботи з такими інтерфейсами, як SPI, I²C, UART, CAN, PWM, ADC, DAC, SDIO. Це забезпечує модулю високий рівень сумісності з різноманітними датчиками, виконавчими пристроями та іншими компонентами електронних систем.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливу увагу приділено питанням енергозбереження: ESP32 підтримує режими Deep Sleep та Light Sleep, що дозволяють значно зменшити енергоспоживання у випадках періодичної активності або тривалого очікування подій.

Мікроконтролер функціонує в діапазоні живлення 2.2–3.6 В, що робить його сумісним із більшістю сучасних сенсорів та елементів керування без потреби додаткових стабілізаторів. Зовнішній вигляд мікроконтролера наведено на рисунку 1.1.

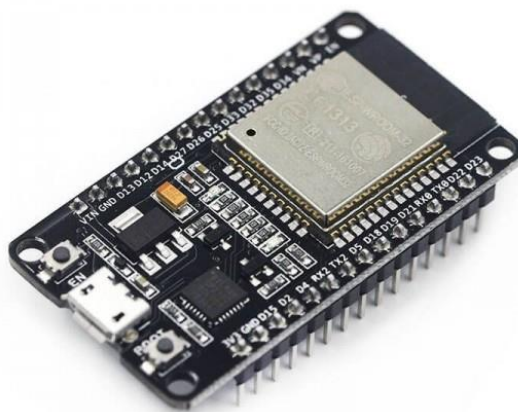


Рисунок 1.1 – Мікроконтролер ESP32 [45]

Незважаючи на компактні розміри, ESP32 забезпечує достатню обчислювальну потужність для виконання складних алгоритмів у режимі реального часу. Завдяки цьому він активно використовується у таких галузях, як розумні будинки, автоматизоване сільське господарство, системи безпеки, автономні станції моніторингу довкілля, бездротові метеостанції, дистанційне управління технічними пристроями тощо.

Окрему увагу заслуговує підтримка протоколів бездротової передачі даних, серед яких MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), HTTP, WebSocket, FTP

тощо. Це дозволяє модулю забезпечувати стабільний обмін даними з серверними та хмарними платформами, зокрема AWS IoT, Google Cloud, Blynk, ThingsBoard та іншими. У результаті ESP32 виступає як повноцінний вузол у децентралізованих IoT-системах, здатних забезпечувати автономний моніторинг і керування в режимі реального часу.

Підтримка різних середовищ розробки, таких як Arduino IDE, PlatformIO, Espressif IoT Development Framework, а також MicroPython, розширює можливості застосування ESP32 як серед початківців, так і серед професійних розробників. Наявність відкритої документації, активної спільноти користувачів і великої кількості прикладів коду суттєво полегшує процес впровадження.

Порівняльні характеристики ESP32 та деяких інших популярних мікроконтролерів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння мікроконтролерів за основними характеристиками

Характеристика	ESP32	ESP8266	STM32 (F103)	Arduino Uno
Частота, МГц	до 240	до 160	до 72	16
Ядра	2	1	1	1
Wi-Fi	Так	Так	Ні	Ні
Bluetooth	Так (v4.2)	Ні	Ні	Ні
Ціна, USD	\$4–8	\$2–4	\$8–15	\$6–10

Як видно з таблиці, модуль ESP32 пропонує одне з найкращих співвідношень вартість/функціональність серед усіх представлених платформ. Його обчислювальні можливості, багатий набір інтерфейсів, підтримка бездротових технологій та енергоефективність роблять його доцільним вибором для розробки систем реального часу з підключенням до мережі.

Таким чином, ESP32 є універсальним інструментом для побудови масштабованих, надійних і енергоефективних систем у рамках концепції IoT.

1.4 Приклади існуючих кіберфізичних систем

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій дедалі більшої популярності набувають кіберфізичні системи, призначені для віддаленого моніторингу якості води у водних об'єктах. У численних наукових, навчальних і стартап-проектах як базова апаратна платформа для таких рішень широко використовується мікроконтролер ESP32, що поєднує високу обчислювальну здатність, енергоефективність та інтегровані засоби бездротового зв'язку. Типова архітектура кіберфізичної системи для моніторингу якості води на основі ESP32 включає низку основних компонентів, узагальнених у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Основні компоненти кіберфізичної системи на основі ESP32 для моніторингу води.

Компонент	Призначення
ESP32	Центральний контролер, що збирає дані з сенсорів і передає їх по Wi-Fi, LoRa або мобільній мережі
Давач якості води	Залежно від цілей: рН, розчинений кисень (DO), температура, електропровідність (EC), мутність (Turbidity), рівень води
Інтерфейси	I2C, UART або аналогові входи для підключення датчиків
Джерело живлення	Акумулятор + сонячна панель
Мережеве з'єднання	Wi-Fi, LoRa, або GSM-модулі для передачі даних
Сервер / Хмара / MQTT	Зберігання даних, візуалізація, аналітика
Веб або мобільний інтерфейс	Для перегляду в реальному часі

Одним із прикладів реалізації відкритої платформи для моніторингу води є проєкт AquaMon – розробка, орієнтована на моніторинг стану природних водойм, зокрема ставків та озер. Система базується на ESP32 як основному модулі збору та обробки даних, до якого підключено сенсори рН, температури та електропровідності. Завдяки інтеграції з протоколом LoRaWAN, забезпечується стабільна передача даних навіть у віддалених географічних зонах. Результати вимірювань надсилаються на IoT-платформи типу ThingsBoard, Blynk або Node-RED, де проходять обробку, архівування та подаються у вигляді графіків і таблиць.

Іншим показовим прикладом є Smart Water Quality Monitoring System (SWQMS) - універсальна архітектура, яку активно впроваджують науково-дослідні лабораторії таких провідних українських закладів вищої освіти, як НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ХНУРЕ, Львівська політехніка та ін. Такі системи орієнтовані на моніторинг критичних параметрів води в режимі реального часу, генерують автоматичні повідомлення при виявленні відхилень від нормативних значень, а також підтримують дистанційне оновлення прошивки та калібрування давачів.

У контексті комерційних розробок варто згадати про появу модульних систем, які дозволяють інтеграцію з державними API моніторингу вод та екосистемами типу Google Cloud, AWS IoT Core, Azure IoT Hub. У таких системах застосовуються промислові давачи, наприклад, Atlas Scientific, DFRobot Gravity, які забезпечують високу точність, стабільність вимірювань та тривалий ресурс експлуатації. Ці рішення орієнтовані як на муніципальні служби контролю за водопостачанням, так і на екологічні інспекції. Архітектура систем зазвичай включає в себе компоненти які зображені на рисунку 1.2.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фіксувати координати вимірювань, а й формувати інтерактивні карти забруднень. Використання штучного інтелекту – для виявлення аномалій у поведінці параметрів води та прогнозування тенденцій забруднення. Децентралізовані мережі обміну даними – реалізація peer-to-peer механізмів через MQTT або IPFS для захисту даних та зниження навантаження на централізовані сервери.

Таким чином, розвиток кіберфізичних систем на базі ESP32 у сфері моніторингу водних ресурсів не лише сприяє вирішенню екологічних проблем, але й виконує важливу освітню та інженерну функцію. Застосування таких рішень є свідченням переходу до більш відкритої, інтелектуальної та відповідальної моделі управління природними ресурсами.

Хоча широкого комерційного розповсюдження таких систем в Україні ще не досягнуто, важливо зазначити, що в рамках закладів вищої освіти та стартапів уже створюються пілотні кіберфізичні системи для моніторингу річок Дніпро, Десна, а також водосховищ та невеликих ставків. Ці ініціативи мають не лише прикладне значення для виявлення забруднень, а й слугують живим прикладом інтеграції технологій у навчальний процес, формуючи нове покоління фахівців, здатних мислити екологічно та технічно водночас.

1.5 Висновок

У першому розділі було здійснено комплексний огляд проблеми забруднення водосховищ як одного з ключових викликів для сучасного суспільства. Наведено докази актуальності тематики через взаємозв'язок якості води з екологічною стабільністю, здоров'ям населення та функціонуванням низки стратегічних галузей, включаючи агропромисловий та енергетичний сектори.

У цьому контексті особливої важливості набуває створення постійно діючих систем екологічного моніторингу, здатних забезпечити достовірний, безперервний та оперативний контроль якості води. Обґрунтовано необхідність упровадження інтелектуальних технологій на основі кіберфізичних систем, що інтегрують датчі, мікроконтролери та канали бездротової передачі даних. Окрему увагу приділено

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролеру ESP32, який завдяки своїм технічним характеристикам, доступності та енергоефективності став основою для реалізації масштабованих рішень у сфері моніторингу довкілля.

Розглянуто чинні нормативні документи, які регламентують якість води у водосховищах України: ДСТУ 4808:2007 та СанПіН 4630-88. На їхній основі сформовано уявлення про допустимі концентрації забруднюючих речовин залежно від цільового призначення водойм - питного, рекреаційного чи рибогосподарського. Наголошено на важливості гармонізації національного екологічного законодавства із нормами Європейського Союзу, зокрема через імплементацію директив 2000/60/ЄС та 2006/118/ЄС.

Окрім теоретичних передумов, у розділі наведено огляд прикладів існуючих кіберфізичних систем на основі ESP32, як у межах наукових ініціатив, так і в рамках стартапів. Проаналізовано типовий склад таких систем, включно з давачами якості води, джерелами живлення, інтерфейсами з'єднання та інструментами для зберігання й візуалізації даних. Показано, що навіть на рівні пілотних проєктів можливо забезпечити ефективний контроль за ключовими параметрами води: рН, температура, мутність, DO, EC тощо.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ

2.1 Технічні характеристики та можливості модуля ESP32

Мікроконтролер ESP32 являє собою високопродуктивну вбудовану платформу, яка поєднує у собі обчислювальні можливості, периферійну гнучкість та енергоефективність. У його основі - двоядерний процесор Tensilica Xtensa LX6, що працює з тактовою частотою до 240 МГц. Висока швидкодія цього процесора потребує відповідної організації підсистеми пам'яті, що реалізована шляхом використання кількох її типів, кожен з яких виконує чітко визначену функцію.

Загальна структура підсистеми пам'яті ESP32 включає такі компоненти:

Static Random-Access Memory (SRAM) - оперативна пам'ять, безпосередньо задіяна у процесі виконання інструкцій ядрами процесора. Забезпечує швидкий доступ до даних під час виконання програмного коду. Обсяг вбудованої SRAM становить до 520 КБ.

Read-Only Memory (ROM) - постійна пам'ять, яка містить базові системні функції, зокрема завантажувач (bootloader) та стартові інструкції. Доступ до вмісту ROM є обмеженим та здійснюється лише у рамках внутрішніх процедур ініціалізації.

Flash-пам'ять - енергонезалежна пам'ять, призначена для зберігання вбудованого програмного забезпечення, а також користувацьких даних, конфігурацій та файлових систем. Обсяг цієї пам'яті залежить від конкретної модифікації модуля ESP32.

Pseudo Static RAM (PSRAM) - додаткова оперативна пам'ять, що реалізована у вигляді зовнішнього модуля. Вона використовується у застосуваннях, які потребують значного обсягу тимчасового зберігання даних, зокрема у задачах обробки зображень, відео, аудіо, а також при реалізації моделей машинного навчання. Модулі типу ESP32-WROVER або ESP32-CAM можуть бути оснащені PSRAM обсягом 4 або 8 МБ, що суттєво розширює функціональні можливості

					КвРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

платформи. Характеристику типів пам'яті мікроконтролера ESP32 подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Пам'ять ESP32

Тип пам'яті	Обсяг
SRAM	520 КБ
ROM	448 КБ
RTC SRAM	16 КБ
Flash-пам'ять	До 16 МБ (зовнішня)

Серед широкого спектра функціональних характеристик мікроконтролера ESP32 особливої уваги заслуговують його розвинуті засоби бездротової комунікації. Вони суттєво вирізняють цей пристрій серед аналогів, що робить його ефективним інструментом для реалізації сучасних систем IoT. На відміну від багатьох інших мікроконтролерів, для яких необхідне підключення зовнішніх модулів зв'язку, ESP32 вже містить відповідні функціональні блоки, що забезпечує інтегроване вирішення задач з бездротової передачі даних.

Однією з ключових переваг ESP32 є вбудована підтримка Wi-Fi за стандартом IEEE 802.11 b/g/n. Пристрій здатен функціонувати в режимі клієнта (STA), точки доступу (AP), або одночасно в обох режимах (STA+AP), що суттєво підвищує його гнучкість та адаптивність у мережевих застосуваннях. Така функціональність дозволяє безпосередньо підключати ESP32 до локальних мереж або інтегрувати його з віддаленими хмарними сервісами, зокрема Google Firebase, ThingSpeak, Blynk, MQTT-брокерами тощо. Це, своєю чергою, забезпечує реалізацію повноцінних систем збору, обробки та візуалізації даних у режимі реального часу - необхідної умови для побудови ефективних IoT-рішень.

Окрім Wi-Fi, ESP32 також підтримує технології Bluetooth v4.2 BR/EDR та Bluetooth Low Energy (BLE). Зокрема, BLE забезпечує мінімальне енергоспоживання, що робить його доцільним вибором для розробки автономних

систем з тривалим терміном служби від батареї. Це особливо актуально для мобільних або польових пристроїв, які функціонують у середовищі з обмеженим доступом до джерел живлення.

Мікроконтролер ESP32 також підтримує широкий спектр мережевих протоколів, зокрема MQTT, HTTP(S), FTP, SNMP, WebSocket та CoAP. Це дає змогу адаптувати його до різноманітних архітектур обміну даними, що притаманні системам IoT. Зокрема, протокол MQTT забезпечує ефективне керування великою кількістю вузлів із мінімальним трафіком даних, а підтримка TLS/SSL гарантує безпечне з'єднання, що є критично важливим у контексті промислових та комерційних застосувань.

Наведені бездротові функціональні можливості ESP32 мають не лише теоретичну, а й практичну цінність. Наприклад, у рамках систем дистанційного моніторингу якості води ESP32 дозволяє передавати дані сенсорного контролю до центрального серверу без використання дротових з'єднань, що значно спрощує розгортання інфраструктури в польових умовах. Інформаційне узагальнення даних про бездротові можливості ESP32 представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Бездротові можливості ESP32

Технологія	Підтримка
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 BR/EDR та BLE
Діапазон частот	2.4 ГГц
Максимальна швидкість Wi-Fi	До 150 Мбіт/с

У будь-якому електронному проєкті розміри компонентів мають вирішальне значення. Це повною мірою стосується і модуля ESP32-WROOM-32UE, який вирізняється компактними, але добре збалансованими розмірами. Такий форм-фактор дозволяє легко інтегрувати його у більшість корпусів та пристроїв без необхідності суттєвих змін у їхній конструкції.

Ще один важливий аспект - це тепловідведення. Через невеликі розміри розсіювання тепла в ESP32-WROOM-32UE обмежене, а отже, в продуктивних або постійно активних пристроях варто подбати про вентиляцію або тепловідвідні рішення, особливо якщо модуль працює в режимі підвищеного навантаження.

Габаритні розміри ESP32-WROOM-32UE:

- довжина: ≈ 25.5 мм;
- ширина: ≈ 18.0 мм;
- висота: ≈ 3.1 мм (без врахування елементів пайки).

Ці параметри можуть незначно змінюватись залежно від виробника або ревізії плати, але зазвичай знаходяться в межах вказаних значень. Саме тому ці цифри є практичними для розрахунків необхідної площі в корпусі приладу чи системи. Вигляд плати та розташування її компонентів зображено на рисунку 2.1.

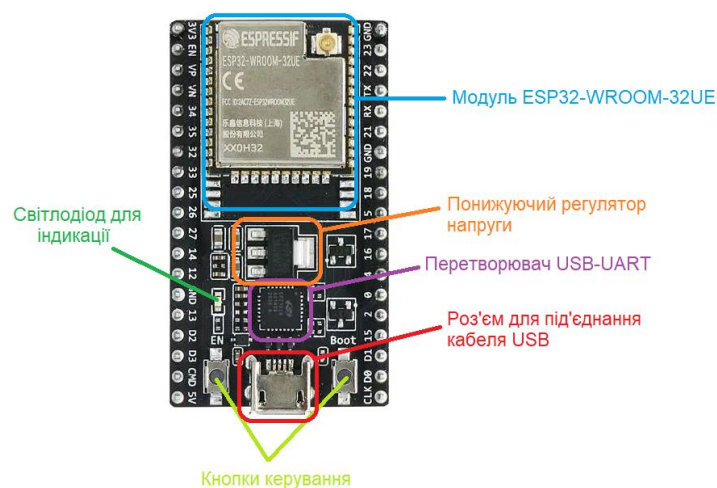


Рисунок 2.1 – Розташування компонентів на платі ESP32-WROOM-32UE

Центральним елементом плати є мікроконтролерний модуль ESP32-WROOM-32UE, що позначений на зображенні блакитним контуром. Цей модуль виробництва компанії Espressif Systems поєднує у собі двоядерний 32-бітовий процесор Tensilica Xtensa LX6, модулі Wi-Fi 802.11 b/g/n та Bluetooth v4.2 (BR/EDR та BLE), а також вбудовану flash-пам'ять. На платі модуль інтегровано таким

чином, що всі основні виводи (GPIO, ADC, UART, SPI, I2C та інші) виведено до контактних рядів для подальшого з'єднання з периферійними пристроями.

Понижуючий стабілізатор напруги (іноді - step-down або LDO-регулятор) виконує ключову роль у системі живлення. Він забезпечує перетворення вхідної напруги (зазвичай 5 В), яка надходить через USB або інші джерела, до рівня 3.3 В, що є безпечним і необхідним для роботи мікроконтролера ESP32 та інших елементів плати. Стабільність напруги безпосередньо впливає на працездатність системи, особливо у випадках, коли ESP32 працює з Wi-Fi-модулем, що має короткотривалі, але значні енергосплески.

USB–UART конвертер забезпечує двосторонній обмін даними між USB-інтерфейсом комп'ютера та послідовним UART-інтерфейсом ESP32. Саме завдяки цій мікросхемі стає можливим:

- здійснення оновлення вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера;
- виведення діагностичної інформації у реальному часі через серіальний монітор;
- налагодження та комунікація з пристроєм через UART-протокол.

Найчастіше використовуються мікросхеми типу CH340G, CP2102 або FT232.

USB-порт (типу micro-USB) виконує дві основні функції: подачу живлення на плату та обмін даними з комп'ютером. Через цей порт здійснюється під'єднання до персонального комп'ютера або джерела живлення (наприклад, зарядного пристрою або Power Bank), що особливо зручно під час розробки та тестування проєктів. Даний роз'єм є основною точкою введення/виведення живлення і даних.

На зображенні виділено дві кнопки управління, які відповідають за:

- EN (Enable/Reset) - призначена для перезавантаження модуля, її натискання ініціює апаратний перезапуск;
- BOOT (IO0) - використовується для переведення модуля у режим оновлення вбудованого програмного забезпечення. Її утримання під час натискання кнопки

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

EN дозволяє ініціювати завантаження нового коду з комп'ютера у flash-пам'ять мікроконтролера.

Індикаторний світлодіод, підключений до одного з GPIO (зазвичай GPIO2) використовується як візуальний індикатор роботи пристрою: перевірка працездатності, подача сигналів про помилки або інші події.

Представлене компонування демонструє продуману архітектуру плати розробки на базі ESP32-WROOM-32UE, яка поєднує потужність, універсальність та компактність. Зручне розташування ключових функціональних блоків (енергоживлення, інтерфейс обміну, управління та індикації) робить плату зручною для використання як у навчальних цілях, так і для розробки комерційних прототипів вбудованих систем та IoT-рішень. Інформація про кількість портів зображена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. – Периферійні інтерфейси ESP32

Інтерфейс	Кількість
GPIO	До 36
ADC (12-біт)	2 (до 18 каналів)
DAC (8-біт)	2
SPI	4
I ² C	2
UART	3
PWM	До 16 каналів
Touch-сенсори	10

ESP32 має багатий набір периферійних інтерфейсів. Ці інтерфейси - це канали комунікації, що дають змогу модулю «говорити» з навколишнім світом. Саме завдяки їм ESP32 може взаємодіяти з сенсорами, приводами, модулями пам'яті, дисплеями, іншими мікроконтролерами, а також з усім, що наповнює екосистему IoT.

Базовою формою взаємодії ESP32 з зовнішнім світом є цифрові входи/виходи. До 36 GPIO-пінів можуть бути сконфігуровані як вхід або вихід, реагуючи на зовнішні сигнали або генеруючи їх. Ці піни здатні працювати в широкому діапазоні логічних станів, підтримують зовнішні переривання та мають програмне керування pull-up і pull-down резисторами. Їх гнучкість і кількість - одна з причин такої популярності ESP32 серед розробників.

ESP32 має UART-інтерфейси, що дають змогу здійснювати асинхронну серійну комунікацію. Це класичний спосіб обміну даними між мікроконтролерами, модулями GSM, GPS, Bluetooth тощо. Здатність ESP32 обробляти кілька UART-каналів одночасно забезпечує велику гнучкість у складних системах.

Швидкий, синхронний SPI-інтерфейс дозволяє ESP32 обмінюватися даними зі швидкістю до 80 МГц. Цей інтерфейс зазвичай використовується для підключення дисплеїв, карт пам'яті, зовнішніх ADC/DAC, радіомодулів. ESP32 підтримує одночасну роботу кількох SPI-шин, що робить його потужним хабом для периферії.

Ще один популярний протокол - I2C - ідеальний для з'єднання багатьох пристроїв на одній шині. ESP32 підтримує два апаратних канали I2C, що дозволяє розділити функціонал, наприклад, на моніторинг сенсорів та керування дисплеями. Простота адресації та низьке енергоспоживання роблять цей інтерфейс надзвичайно зручним для побудови складних мереж пристроїв.

Широтно-імпульсна модуляція - ключ до керування яскравістю світлодіодів, швидкістю обертання моторів, створення аналогових сигналів. ESP32 має до 16 незалежних каналів PWM, кожен з яких може бути точно налаштований за частотою та робочим циклом. Цей інтерфейс відкриває двері до створення інтелектуальних систем автоматизації.

ESP32 має 18 входів ADC (12-біт) і два виходи DAC (8-біт), що дозволяє йому не лише сприймати аналогові сигнали, а й генерувати їх. Завдяки цьому модуль може сприймати дані з аналогових сенсорів (температури, світла, вологості) та керувати аналоговими пристроями (звуковими сигналами, приводами).

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для промислових і автомобільних застосувань ESP32 підтримує CAN-шину - надійний протокол обміну даними в реальному часі, що використовується в автомобілях, робототехніці, інженерній автоматизації. Цей інтерфейс забезпечує надійну комунікацію між вузлами, навіть у складних умовах електромагнітних перешкод.

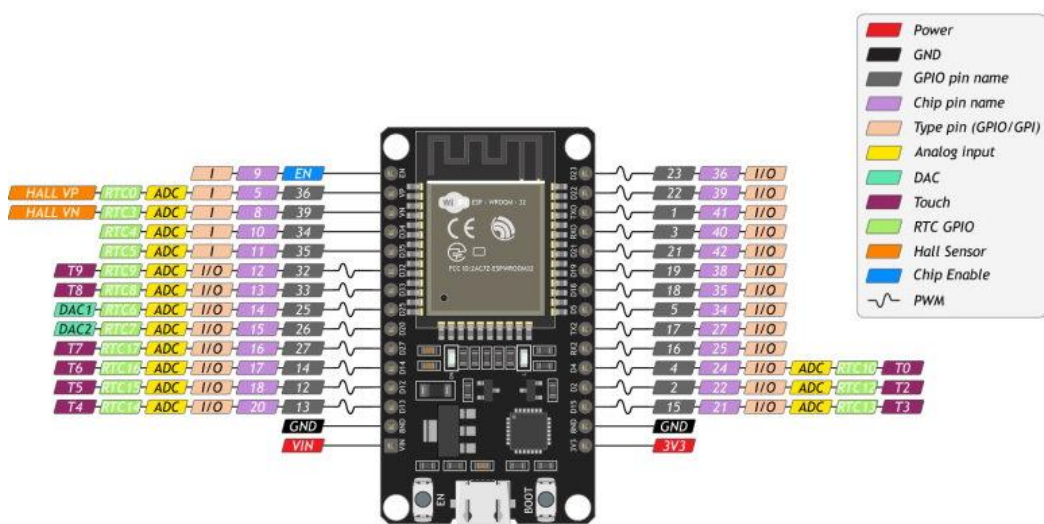


Рисунок 2.2 – Розташування виходів на платі ESP32 DevKit V1[45]

На рисунку 2.2 схема розпіновки (pinout) модуля ESP32 DevKit V1 із 36 виводами, що широко використовується для розробки вбудованих систем та рішень IoT. Схема демонструє розташування, функціональні можливості та призначення кожного з контактів плати.

У мікроконтролерній системі на базі ESP32 живлення є одним із ключових факторів, що забезпечують коректну роботу всіх апаратних компонентів. Електричне живлення на платі розподілено між декількома основними контактами. Контакт, позначений як 3V3, є стабілізованим джерелом напруги 3,3 В і використовується для живлення логічної частини мікроконтролера ESP32. Контакт VIN виконує функцію вхідного джерела живлення, зазвичай 5 В, яке подається або через інтерфейс USB, або через зовнішній блок живлення. Контакти GND

виконують роль загальної шини живлення - нульового потенціалу, до якого повинні бути під'єднані всі зовнішні компоненти для забезпечення їх належної роботи.

Універсальні виводи введення/виведення (GPIO) позначаються з відповідним номером, наприклад, GPIO2, GPIO13 тощо. Ці виводи мають багатofункціональне призначення: вони можуть бути налаштовані як на введення, так і на виведення сигналів, а також бути задіяні у реалізації різноманітних цифрових інтерфейсів, таких як I²C, SPI, UART тощо. Паралельно з позначенням GPIO у схемах та технічній документації також використовуються внутрішні апаратні позначення контактів мікросхеми, наприклад IO21 або IO22, які відповідають фізичному розміщенню виводів на кристалі ESP32.

Залежно від функціонального призначення кожного контакту, у технічній документації та схемах застосовується кольорове кодування, яке допомагає ідентифікувати додаткові можливості GPIO-виводів. ESP32 оснащено двома ADC-модулями з можливістю підключення до 18 каналів.

Крім того, ESP32 підтримує роботу з ємнісними сенсорами. Ці сенсори використовуються для реалізації сенсорних кнопок і розміщені, зокрема, на GPIO4, GPIO12, GPIO13. Контакти, здатні функціонувати в режимі зниженого енергоспоживання як частина системи реального часу (RTC GPIO). Вони залишаються активними навіть під час переходу мікроконтролера в сплячий режим, що робить їх доцільними для підключення будильників, сенсорів пробудження тощо.

Функціональність широтно-імпульсної модуляції (PWM) підтримується більшістю GPIO-виводів. Ця технологія дозволяє генерувати сигнал, що моделює аналогову форму, і широко використовується для керування яскравістю світлодіодів, швидкістю обертання двигунів та в інших прикладних задачах. Окремо варто згадати і вбудовані давачі Холла, які реагують на зміни магнітного поля. В ESP32 для цього передбачено два входи - VP та VN.

Важливим функціональним елементом плати є контакт EN (Chip Enable), який використовується для активації або перезавантаження мікроконтролера.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подання логічної «1» на цей вивід забезпечує включення пристрою, тоді як логічна «0» переводить його в стан вимкнення.

ESP32 також підтримує використання декількох цифрових інтерфейсів, серед яких три SPI (Serial Peripheral Interface) для високошвидкісного обміну з периферійними пристроями, трьох UART для реалізації послідовного обміну даними, двох I²C (Inter-Integrated Circuit) для підключення сенсорів та енергонезалежної пам'яті, а також двох I²S (Integrated Inter-IC Sound) інтерфейсів, призначених для цифрової передачі аудіосигналів.

Таким чином, архітектура ESP32 є надзвичайно гнучкою й адаптивною до широкого спектра застосувань завдяки мультифункціональності своїх виводів та підтримці великої кількості стандартів периферійної комунікації.

Схема розпіновки ESP32 DevKit є надзвичайно зручною для інженерів та розробників, оскільки дозволяє швидко зорієнтуватися у функціональних можливостях кожного контакту. Завдяки багатфункціональності GPIO-виводів, ESP32 здатен працювати з великою кількістю датчиків, пристроїв введення/виведення та протоколів комунікації. Компактність, енергозбереження, підтримка бездротових інтерфейсів Wi-Fi/Bluetooth та розширена периферія роблять ESP32 одним із найпотужніших і гнучких мікроконтролерних рішень у своїй категорії.

У світі, де енергоефективність стає ключовим чинником успішності будь-якої технології, модуль ESP32 демонструє виняткову здатність до адаптації та економії енергії. Режим енергоспоживання цього модуля - це не просто технічна опція, а справжній інструмент виживання в умовах обмежених ресурсів, де кожен мікроампер має значення.

У контексті енергоефективності мікроконтролерів особливу увагу слід приділяти режимам енергоспоживання, які реалізовані в архітектурі ESP32. Залежно від поточних задач і вимог до автономності пристрою, ESP32 може функціонувати в одному з кількох режимів, кожен з яких характеризується різним рівнем активності модулів і, відповідно, споживанням електричної енергії.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У активному режимі мікроконтролер функціонує з максимальною продуктивністю, виконуючи основні обчислювальні операції, керуючи периферійними пристроями, а також забезпечуючи зв'язок через інтерфейси Wi-Fi та Bluetooth. Цей режим є ключовим для виконання критичних задач у реальному часі, зокрема запуску системи, обробки сенсорних подій або передавання даних. Споживання електричного струму при цьому може коливатись у межах від 80 до 260 мА залежно від активності радіомодулів та обчислювального навантаження.

Режим Modem Sleep забезпечує суттєве зниження споживання енергії за рахунок відключення бездротових інтерфейсів Wi-Fi та Bluetooth при збереженні активності центрального процесора. У такому стані пристрій продовжує обробляти дані, не здійснюючи передачі інформації, що дозволяє зменшити енергоспоживання до рівня 3–20 мА. Цей режим є доцільним у ситуаціях, коли необхідна обробка локальних подій без потреби в безперервній комунікації.

У режимі легкого сну (Light Sleep) робота центрального процесора призупиняється, проте периферійні блоки та модуль реального часу (RTC) залишаються активними. Це дозволяє зменшити струм споживання до значень у межах 0,8–2 мА. Вихід із цього режиму можливий за допомогою зовнішніх або внутрішніх тригерів, зокрема сигналу на одному з GPIO-виводів або події, згенерованої таймером. Такий режим є оптимальним для систем із періодичною активністю, де важлива оперативна реакція на зовнішні подразники.

Один із найефективніших з погляду енергозбереження - це режим глибокого сну (Deep Sleep). У цьому стані знеструмлюється більшість функціональних блоків мікроконтролера, за винятком ультранизькопотужного кристалу (ULP) та модуля RTC. Споживання електроенергії при цьому знижується до рівня 10–150 мкА. Пристрій здатен перебувати у цьому режимі тривалий час, від кількох годин до тижнів, до моменту отримання сигналу пробудження - як від внутрішнього таймера, так і від зовнішнього джерела. Такий підхід є надзвичайно корисним для

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автономних пристроїв, що живляться від акумуляторів або альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних панелей.

Найнижчий рівень енергоспоживання досягається у режимі глибокої сплячки (Hibernation). У цьому стані повністю вимикаються всі модулі, включаючи RTC, і активною залишається лише мінімальна логіка пробудження. Споживання струму може знижуватись до рівня 5 мкА або навіть менше. Такий режим доцільно використовувати у випадках, коли передбачене повне призупинення функціонування пристрою на тривалий час із подальшим повним відновленням роботи виключно за зовнішнім сигналом, наприклад, натисканням кнопки.

Таким чином, гнучке управління режимами енергоспоживання в ESP32 забезпечує ефективне балансування між продуктивністю та автономністю, що є критично важливим для реалізації сучасних вбудованих систем з обмеженим джерелом живлення.

Для пристроїв, що працюють у віддалених місцях (наприклад, метеостанції, трекери, водоміри), режим Deep Sleep стає основою тривалого автономного функціонування. Розумна побудова циклу: активність - збір даних - передача - сон - дозволяє пристроям працювати від однієї батареї рік і більше. Така ефективність - це тріумф інженерної думки. Загальна інформація про споживання енергії викладена у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. – Режими енергоспоживання ESP32

Режим	Споживання енергії
Активний режим	~160 мА
Режим сну (Light Sleep)	~0.8 мА
Глибокий сон (Deep Sleep)	~10 мкА
Глибокий сон з ULP	~5 мкА

2.2 Давачі для створення кіберфізичної системи

Давачі Total Dissolved Solids (TDS), які зазвичай використовуються для вимірювання електропровідності води, дуже популярні в системах на базі ESP32. Вони дають змогу оцінити загальний рівень розчинених у воді солей, мінералів та забруднень. Нижче розглянуто два найбільш поширені типи TDS/EC сенсорів, що знаходять застосування як у навчальних, так і у науково-дослідних.

DFRobot Gravity: Analog TDS Sensor / Meter широко використовується у сфері розробки прототипів та освітніх проєктів завдяки своїй надійності, простоті підключення та сумісності з більшістю сучасних мікроконтролерів, зокрема з платформою ESP32.

Аналоговий інтерфейс з трьома контактами (VCC, GND, Signal) забезпечує безпосереднє підключення сенсора до аналогових входів мікроконтролера без необхідності додаткової обробки сигналу або перетворення рівнів. Робоча напруга пристрою знаходиться в межах від 3,3 до 5,5 В, що дозволяє використовувати його в системах з живленням 3,3 В без потреби у зовнішніх понижуючих перетворювачах.

Діапазон вимірювання становить від 0 до 1000 ppm, що охоплює більшість побутових та лабораторних застосувань, де необхідно контролювати загальний вміст розчинених речовин у воді. При цьому точність вимірювання сягає $\pm 10\%$, що є достатнім для задач моніторингу в умовах змінної температури, вологості або інших впливів зовнішнього середовища.

Особливістю конструкції сенсора є наявність водозахищеного зонда, що забезпечує тривалий термін експлуатації та можливість застосування в агресивніших середовищах, зокрема під час вимірювання у відкритих резервуарах або трубопроводах.

Процес обробки сигналу передбачає зчитування аналогового значення за допомогою функції `analogRead()` у середовищі Arduino IDE. Для коректного перетворення сигналу у фізичне значення TDS використовується емпірична

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формула, що здійснює конверсію між ЕС та TDS. Такий підхід дає змогу адаптувати калібрування пристрою відповідно до конкретних умов застосування та складу води.

Таким чином, використання сенсора DFRobot Gravity: Analog TDS Sensor / Meter у складі даної системи дозволяє реалізувати доступний і ефективний засіб моніторингу параметрів водного середовища із достатнім рівнем точності для побутового або навчального застосування. На рисунку 2.3 представлено загальний вигляд зазначеного сенсорного модуля.



Рисунок 2.3– DFRobot Gravity: Analog TDS Sensor / Meter [33]

DFRobot Gravity: EC Sensor (K=1.0) незважаючи на те, що даний сенсор не призначений безпосередньо для вимірювання TDS, його застосування у поєднанні з відповідними коефіцієнтами конверсії дозволяє здійснювати високоточну оцінку цього параметра.

Фізичною основою такого підходу є залежність між ЕС та значенням TDS, яка описується емпіричною формулою:

$$\text{TDS (ppm)} = \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \times k,$$

де k - коефіцієнт перетворення, що зазвичай знаходиться в межах від 0.5 до 0.7 залежно від хімічного складу води (дистильованої, водопровідної, природної тощо).

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволяє реалізувати гнучке калібрування під конкретні умови експлуатації, що особливо важливо в дослідницьких або лабораторних системах.

Сенсор підтримує два типи інтерфейсів - аналоговий та UART - що забезпечує його сумісність із широким спектром мікроконтролерів і дозволяє інтегрувати пристрій як у прості, так і в складні багатокomпонентні системи. Залежно від застосованого зонду, сенсор забезпечує вимірювання у діапазоні від 0.1 до 20 мСм/см, що охоплює як низькопровідні середовища (наприклад, очищену воду), так і розчини з високою концентрацією йонів.

Окремо варто відзначити високу точність та стабільність вимірювань, властиві цьому сенсору, що дозволяє використовувати його у дослідницьких роботах, які передбачають тривале занурення у водне середовище. Конструкція зонда відповідає вимогам промислової експлуатації, що забезпечує довговічність та стійкість до корозійних процесів.

Таким чином, застосування сенсора DFRobot Gravity: EC Sensor (K=1.0) у складі системи моніторингу води дає змогу реалізувати високоточне та надійне вимірювання електропровідності з можливістю подальшої інтерпретації результатів у вигляді значень TDS. Зовнішній вигляд сенсора наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – DFRobot Gravity: EC Sensor (K=1.0)[29]

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибір TDS/EC сенсора для роботи з ESP32 залежить від мети проекту, наявного бюджету та вимог до точності. В умовах обмеженого фінансування, але з амбіцією до якісного результату, DFRobot Gravity: Analog TDS виступає як універсальний варіант. Для професійних задач - Gravity EC Sensor беззаперечно є кращим вибором.

У контексті розробки систем моніторингу навколишнього середовища та якості води на основі мікроконтролера ESP32, ключову роль відіграє вибір відповідних датчиків температури. Температурні характеристики мають критичне значення як для хімічних реакцій у воді, так і для параметрів якості повітря та вологості.

У процесі побудови систем моніторингу фізичних параметрів водного середовища доцільним є використання цифрового температурного датчика DS18B20, який зарекомендував себе як один із найнадійніших та високоточних сенсорів у своєму класі. Даний датчик реалізує цифровий інтерфейс типу 1-Wire, що дозволяє зменшити кількість необхідних з'єднань та спрощує інтеграцію з мікроконтролерними системами, зокрема такими, як ESP32.

Сенсор забезпечує стабільне вимірювання температури в широкому діапазоні - від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, при цьому похибка становить не більше $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у найбільш чутливій зоні вимірювання. Така характеристика дає змогу використовувати пристрій як у звичайних лабораторних умовах, так і в середовищах із підвищеними вимогами до точності.

Особливою перевагою DS18B20 є його герметичне водонепроникне виконання, яке дозволяє безперешкодно застосовувати сенсор у рідинних середовищах протягом тривалого періоду експлуатації. Зокрема, він є придатним для встановлення у відкритих водоймах, трубопровідних системах, резервуарах, акваріумах та інших об'єктах, де необхідно забезпечити безперервний контроль температурних умов.

Живлення датчика здійснюється в діапазоні від 3.0 В до 5.5 В, що забезпечує його повну сумісність із більшістю сучасних мікроконтролерів без потреби у

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткових перетворювачах рівнів сигналів. Зображення сенсора DS18B20 наведено на рисунку 2.5.

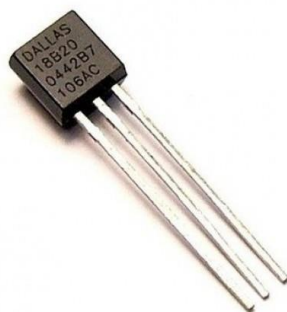


Рисунок 2.5– DS18B20[18]

Температурний давач LM35 є аналоговим вимірювальним приладом, призначеним для безпосереднього перетворення температури навколишнього середовища у відповідний аналоговий електричний сигнал. Його конструкція забезпечує лінійну залежність вихідної напруги від температури, що значно спрощує процес подальшої обробки сигналу та дозволяє використовувати давач у проектах із мінімальним обчислювальним навантаженням.

Діапазон вимірюваних температур становить від -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$, що охоплює широкий спектр побутових та промислових умов експлуатації. Типова похибка вимірювання не перевищує $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що свідчить про достатню точність для загальнотехнічних застосувань. Живлення давача здійснюється у межах від 4 В до 30 В, що робить його сумісним із більшістю джерел постійного струму, використовуваних у вбудованих системах.

Попри те, що LM35 не має захисту від вологи та не призначений для безпосереднього використання у зовнішньому середовищі або у вологих умовах, він добре підходить для вимірювань у приміщеннях, у тому числі у системах контролю мікроклімату, навчальних лабораторіях або автоматизованих домашніх пристроях. На рисунку 2.6 наведено зовнішній вигляд давача LM35.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7– VME280[43]

У системах екологічного моніторингу та водного аналізу рН-метри відіграють ключову роль як засіб визначення кислотно-лужного балансу водного середовища. У поєднанні з мікроконтролерами типу ESP32, які забезпечують високу обчислювальну потужність і гнучкість підключення, рН-сенсори стають важливими елементами IoT-архітектури. Нижче подано аналітичний огляд двох найпопулярніших давачів кислотності, що є сумісними з ESP32.

Аналоговий рН-метр DFRobot Gravity V2 (SEN0161-V2) призначений для вимірювання кислотно-лужного балансу рідких середовищ у межах від 0 до 14 рН. Типова точність вимірювання становить $\pm 0,1$ рН, що дозволяє використовувати даний сенсор у завданнях, де потрібен надійний контроль якості води та інших водних розчинів.

Живлення пристрою можливе у діапазоні від 3,3 В до 5,5 В, що забезпечує його сумісність з широким спектром мікроконтролерів, зокрема з платформами, які функціонують при напрузі 3,3 В, такими як ESP32. Завдяки використанню аналогового інтерфейсу, сенсор не потребує складної цифрової обробки, що спрощує його інтеграцію у вбудовані системи.

Модульна конструкція сенсора включає вбудований стабілізатор напруги, а також систему фільтрації сигналу, яка забезпечує підвищену стійкість до перешкод і стабільність вимірювань протягом тривалого періоду експлуатації. Це робить

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрій придатним для довготривалого моніторингу параметрів рідких середовищ у лабораторних, навчальних або промислових умовах. Зовнішній вигляд сенсора DFRobot Gravity: Аналоговий рН-метр V2 (SEN0161-V2) представлено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – DFRobot Gravity: Аналоговий рН-метр V2 (SEN0161-V2)[31]

Аналоговий рН-метр DFRobot Gravity: Pro є високонадійним сенсором, розробленим для експлуатації у складних умовах зовнішнього середовища. Діапазон вимірювання становить від 0 до 14 рН при типовій точності $\pm 0,1$ рН, що забезпечує відповідність вимогам до тривалого моніторингу якості води у природних та техногенних об'єктах.

Сенсор функціонує від стабільного джерела живлення напругою 5 В і має аналоговий вихідний інтерфейс, що дозволяє легко інтегрувати його до вбудованих систем збору та аналізу даних. Основною особливістю пристрою є наявність промислового рН-зонда, розрахованого на безперервну експлуатацію протягом щонайменше одного року без потреби у заміні або обслуговуванні. Така характеристика забезпечує високу надійність і стабільність вимірювань навіть за наявності забруднень у середовищі, що досліджується.

З огляду на ці технічні параметри та експлуатаційні можливості, сенсор доцільно застосовувати у проєктах екологічного моніторингу, пов'язаних із контролем стану річкових і озерних екосистем, а також у системах оцінки якості

каналізаційних стоків. У таких випадках ключовими вимогами є довговічність, точність та стабільність роботи сенсорного елементу. Зовнішній вигляд аналогового рН-метра DFRobot Gravity: Pro представлено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – DFRobot Gravity: Pro[49]

Для освітніх цілей та прототипування рекомендовано використовувати DFRobot Gravity V2, який забезпечує баланс між точністю, вартістю та зручністю інтеграції з ESP32. Для професійного моніторингу в умовах агресивного або забрудненого середовища доцільно обрати Gravity Pro рН-метр, що має промисловий рівень надійності.

У контексті розбудови інтелектуальних систем екологічного моніторингу, зокрема у сфері якості води, важливу роль відіграють сенсори мутності води. Вони дають змогу оцінювати рівень зважених частинок у рідкому середовищі, що є критичним індикатором забруднення у ставках, річках, водосховищах або в системах очищення води. Нижче наведено порівняльний огляд двох найбільш поширених та сумісних із мікроконтролером ESP32 сенсорів мутності, які є доступними на ринку України.

Давач мутності DFRobot Gravity: Analog Turbidity Sensor (SEN0189) призначений для вимірювання прозорості води у діапазоні від 0 до 1000 NTU, що охоплює характерні значення мутності як природних, так і техногенних водних об'єктів. Сенсор живиться від джерела постійного струму з напругою 5 В та

відбувається через аналоговий інтерфейс, що дозволяє безпосереднє підключення до мікроконтролерних платформ.

Модуль оснащений герметичним зондом, конструкція якого забезпечує захист від вологи та дозволяє стабільну експлуатацію у складних або агресивних умовах, зокрема у середовищах з високою концентрацією домішок або змінною хімічною активністю. На відміну від низки малобюджетних аналогів, давач TS-300B забезпечує високу стабільність вимірювань у широкому діапазоні температур і складу досліджуваного середовища, що є критичним для застосувань, де потрібна підвищена точність.

Завдяки простому аналоговому виходу, пристрій легко інтегрується в електронні системи на базі Arduino або ESP32 без необхідності у проміжних модулях чи додатковій обробці сигналу. Це робить давач придатним як для лабораторних умов, так і для розробки прикладних IoT-рішень, спрямованих на контроль стану водних об'єктів у режимі реального часу. Зовнішній вигляд сенсора TS-300B наведено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – TS-300B[11]

Обидва сенсори - як DFRobot SEN0189, так і TS-300B - забезпечують належну якість вимірювань у межах до 1000 NTU та сумісні з ESP32, що робить їх цінними

складовими у створенні систем дистанційного моніторингу якості води. Вибір між ними залежить від бюджету та очікуваних умов експлуатації:

SEN018 - для освітніх цілей та базового моніторингу;

TS-300B - для систем, що вимагають більшої точності та стабільності у змінних середовищах.

Таким чином, ці сенсори закладають технічне підґрунтя для побудови масштабованих та ефективних екосистем розумного аналізу стану водного середовища на базі ESP32.

2.3 Висновки

У другому розділі було здійснено ґрунтовний аналіз та обґрунтований вибір апаратних і програмних компонентів для побудови кіберфізичної системи віддаленого моніторингу якості води. На основі технічних, економічних та функціональних критеріїв було визначено доцільність використання модуля ESP32 як центрального елемента обчислення і керування. Його висока продуктивність, енергоефективність та підтримка бездротових інтерфейсів (Wi-Fi, Bluetooth) забезпечують надійний збір, обробку та передачу екологічних даних у режимі реального часу.

Також було проаналізовано основні характеристики пам'яті, обчислювальних ресурсів, інтерфейсів введення/виведення, а також мережевих протоколів, підтримуваних мікроконтролером. Зазначено, що ESP32 забезпечує можливість побудови масштабованих, безпечних та мобільних екосистем IoT, що особливо актуально у сфері екологічного моніторингу.

Таким чином, проведені дослідження дозволило сформуванню техніко-технологічну базу для подальшої реалізації проекту. Обрані компоненти задовольняють вимоги до точності, автономності, економічної доцільності та надійності, що є критично важливими у проектах моніторингу водних ресурсів, орієнтованих на реальне впровадження у польових умовах.

					КвРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОСХОВИЩАХ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32

3.1 Опис реалізації системи

Для реалізації пристрою використано одноплатний мікроконтролер ESP32-WROOM-32UE, до якого підключені датчики рН, електропровідності, мутності і температури. Типовий макет пристрою зібрано на макетній платі, де ESP32-WROOM-32UE виступає «мозком» системи з живленням 3.3–5 В. Так, аналоговий сигнал рН-пробопередавача підключається до входу АЦП ESP32 (GPIO34), а цифровий температурний DS18B20 – по шині 1-Wire (DQ до GPIO27). Вихідний аналоговий сигнал датчика мутності (turbidity) – до іншого АЦП (GPIO35), а вихід датчика TDS/EC – до ще одного аналогового входу (GPIO32). Для прикладу на рисунку.3.1 зображено макет з підключеними датчиками до ESP32-WROOM-32UE. Кожен датчик зазвичай має три лінії: VCC (5 В), GND та вихід (аналоговий чи цифровий).

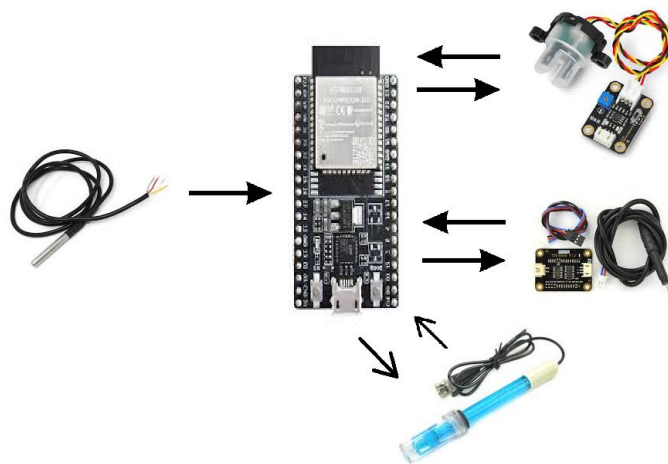


Рисунок 3.1 – Приклад прототипу системи моніторингу якості води на базі ESP32-WROOM-32UE з датчиками рН, мутності, температури та TDS.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1-Wire - це послідовний інтерфейс низькошвидкісного типу, який для передавання даних і живлення використовує лише один сигнальний провід (у спільному з GND з'єднанні). Протокол передбачає передачу даних у напівдуплексному режимі, де взаємодія між головним пристроєм (мастером) та підлеглими (слейвами) відбувається за строго визначеним таймінгом. У більшості практичних реалізацій передбачене окреме живлення для сенсора, однак існує також режим паразитного живлення, у якому живлення здійснюється з сигнальної лінії.

Головною особливістю 1-Wire є можливість підключення до однієї шини великої кількості пристроїв, кожен з яких має унікальний 64-бітний ідентифікатор, що забезпечує ідентифікацію сенсорів без потреби додаткових адресаційних схем. Такий підхід особливо корисний у багатоточкових системах моніторингу, де важливо зменшити кількість фізичних з'єднань.

У межах даного проєкту для вимірювання температури використано цифровий сенсор DS18B20, що працює за протоколом 1-Wire. Цей сенсор є одним із найпоширеніших рішень у системах моніторингу завдяки високій точності (до ± 0.5 °C), низькому споживанню енергії та простоті інтеграції з мікроконтролерами типу ESP32.

Стандартне з'єднання DS18B20 з мікроконтролером ESP32 включає три дроти: VDD (живлення, 3.3 В або 5 В), GND (заземлення), DQ (сигнальний провід 1-Wire).

Сигнальна лінія DQ підключається до будь-якого цифрового GPIO мікроконтролера (GPIO27), а між DQ і VDD встановлюється підтягувальний резистор номіналом 4.7 кОм. Цей резистор необхідний для формування стабільного логічного рівня та забезпечення правильного розпізнавання сигналів, які надходять від пристрою. За відсутності резистора або при його некоректному значенні можуть спостерігатися порушення зв'язку, збої в передачі даних або випадкове перезавантаження мікроконтролера. Також на рисунку 3.2 зображено електрична принципова схема, де додатковим елементом є резистор.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

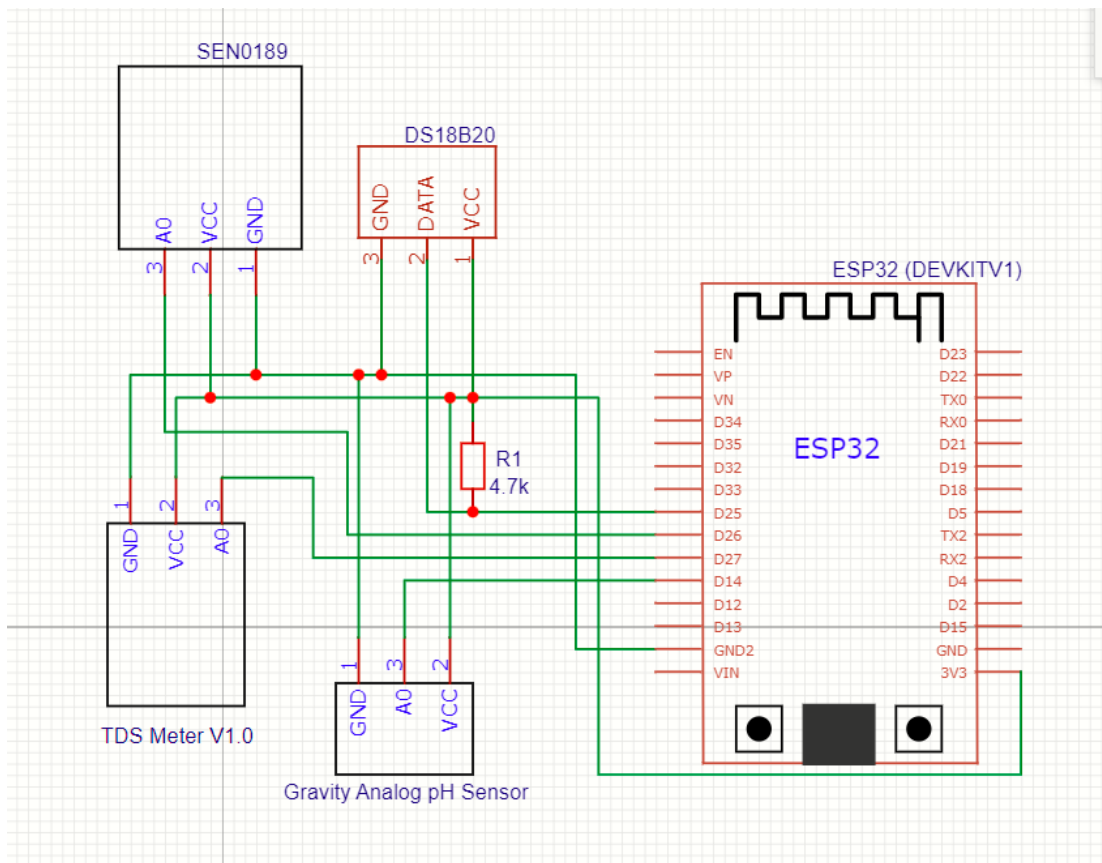


Рисунок 3.2 – Електрична принципова схема

У випадку, коли використовується паразитне живлення, лінії VDD та GND не підключаються до зовнішнього джерела, а сам сенсор отримує енергію під час високого рівня сигналу на лінії DQ. Проте для більшої стабільності та надійності в системах екологічного моніторингу рекомендовано застосовувати класичне тридротове підключення з окремим живленням.

На рівні програмної логіки, взаємодія з DS18B20 реалізується через бібліотеки OneWire.h та DallasTemperature.h (у середовищі Arduino IDE), які забезпечують повну підтримку протоколу 1-Wire. Зокрема, функції begin(), requestTemperatures() та getTempCByIndex(0) дозволяють ініціалізувати зв'язок, здійснити вимірювання та зчитати значення температури у зручному форматі (градуси Цельсія). Завдяки цифровому формату передавання, не потрібно виконувати додаткове перетворення сигналу в аналоговий чи калібрування (за

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

винятком валідації точності). Це значно спрощує як розробку програмного коду, так і подальше обслуговування системи.

Крім того, застосування давача температури на 1-Wire у проєкті дозволяє реалізувати температурну компенсацію для інших сенсорів (рН, ЕС), значення яких залежать від температури середовища. Таким чином, використання DS18B20 через 1-Wire не лише забезпечує вимірювання температури з високою точністю, а й підвищує достовірність усієї системи екологічного моніторингу.

У процесі побудови системи моніторингу якості води одним із ключових аспектів є правильне підключення сенсорів до мікроконтролера, зокрема тих, що формують аналоговий вихід. Такими давачами, що застосовуються в проєкті, є сенсор кислотності (рН), давач електропровідності (TDS/ЕС), а також давач мутності (turbidity sensor). Всі вони мають аналоговий вихід, значення якого необхідно перетворити у цифрову форму з використанням внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП), вбудованого в мікроконтролер ESP32.

ESP32 має 18 каналів АЦП із роздільною здатністю 12 біт (тобто значення на виході перетворення - від 0 до 4095). Напруга, яку може інтерпретувати АЦП, зазвичай обмежується інтервалом 0–3.3 В, що є стандартною напругою живлення для більшості плат на базі ESP32. Тому необхідно враховувати, що сигнал із сенсора не повинен перевищувати цей рівень, інакше виникає ризик пошкодження АЦП. У разі використання сенсорів, що працюють на 5 В, потрібно застосовувати схему пониження напруги, наприклад, на базі резистивного подільника або буферного операційного підсилювача з обмеженням по рівню.

Схема підключення кожного аналогового сенсора включає три базові елементи: лінію живлення (VCC), лінію «землі» (GND) та аналоговий вихід (OUT), що подається на відповідний пін мікроконтролера. Для забезпечення точності та захисту від шумів на кожному вході АЦП доцільно встановити фільтр нижніх частот RC-типу, що складається з послідовного резистора (1–10 кОм) та паралельного конденсатора (0.1–1 мкФ). Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив

високочастотних завад, особливо при розміщенні сенсорів на довгих дротах або в умовах підвищеної електромагнітної активності.

У контексті побудови системи, аналогові сигнали від кожного з датчиків підключаються до окремих аналогових пінів ESP32. Вихід рН-датчика підключається до GPIO34, вихід сенсора мутності - до GPIO35, а сигнал від TDS/EC - до GPIO32. Ці пінові номери обрані з урахуванням можливостей АЦП ESP32 та його розведення на типовій розробницькій платі. Важливо також, що деякі з пінів ESP32 мають обмеження щодо роботи з Wi-Fi: зокрема, АЦП2 (GPIO0 – GPIO15) не можуть використовуватись для зчитування аналогових сигналів одночасно з активною передачею даних по Wi-Fi. У зв'язку з цим, доцільно призначати аналогові входи із групи АЦП1 (GPIO32 – GPIO39), які не мають таких обмежень.

Крім електричного підключення, необхідно забезпечити надійне з'єднання сенсорів із роз'ємами або клемами на платі. Для підвищення стабільності контактів, особливо в польових умовах, рекомендується використовувати паяні з'єднання або герметизовані конектори з фіксацією. Важливо також враховувати, що навіть при правильному електричному підключенні вимірювання можуть бути нестабільними у разі, якщо аналоговий вхід не фіксується відповідним опором у стані спокою. У такому випадку застосовують підтягувачі до «землі» або стабілізуючі фільтри.

На завершення слід наголосити, що точність перетворення аналогового сигналу на цифровий залежить не лише від АЦП та апаратної реалізації, але й від коректного калібрування в програмному коді. Зокрема, для кожного з сенсорів необхідно враховувати характеристичну залежність між вихідною напругою та вимірюваною фізичною величиною (рН, NTU, мкСм/см тощо). Ці залежності взято з технічної документації виробника сенсора.

Таким чином, аналогове підключення сенсорів у даній системі є не лише базовим технічним етапом, а й критично важливим чинником, що визначає загальну точність, надійність і функціональність системи моніторингу водного середовища.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрій живиться від літієвого акумулятора (18650) через модуль заряду TP4056 (рисунок 3.3), який може заряджати батарею від зовнішнього джерела (сонячна панель).

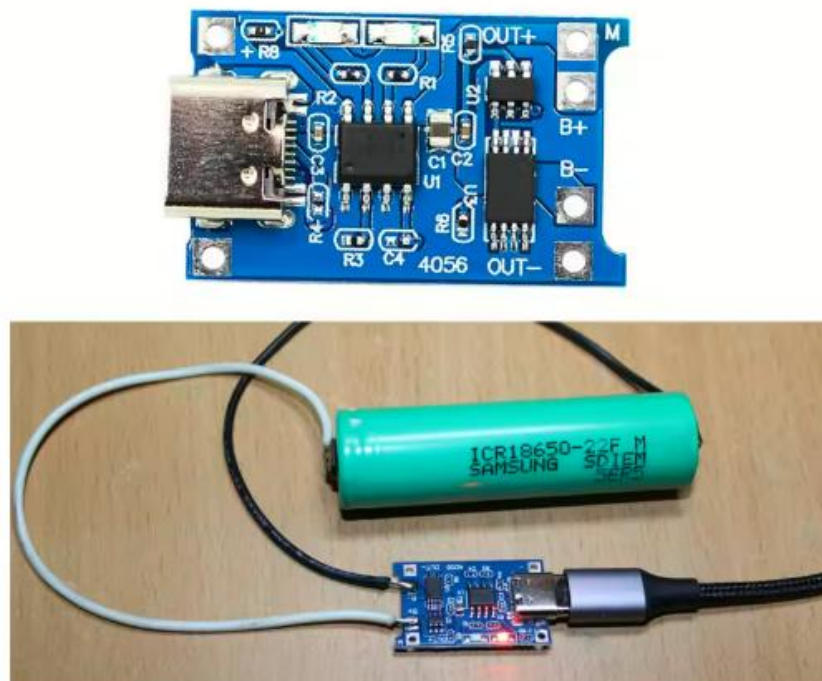


Рисунок 3.3 – Модуль заряду TP4056[38]

Сонячна панель дає ~5–6 В, які TP4056 стабілізує на заряд 4.2 В для акумулятора. Далі лінія виходу акумулятора (до 4.2 В) понизується до 3.3 В стабільним LDO-регулятором (MCP1700), щоб жити сам ESP32. На вході та виході регулятора ставлять паралельні конденсатори (100 μ F + 100 nF) для згладжування пульсацій напруги. Таке живлення з TP4056 і акумулятора відповідає рекомендованим практикам для автономних IoT-пристроїв.

Для захисту електроніки від вологи використовується герметичний пластиковий (або алюмінієвий) корпус із класом захисту IP65. IP65 означає повну пилонепроникність і захист від струменів води низького тиску, що забезпечує роботу пристрою на відкритому повітрі. Усі отвори для кабелів обладнуються ущільнювачами або кабельними вводами. Усередині корпусу друковану плату та

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакти можна покрити конформним покриттям (силіконовим чи акриловим) для додаткової гідроізоляції та захисту від корозії.

Для стабілізації аналогових сигналів від сенсорів застосовуються фільтрувальні компоненти. Наприклад, на входи аналого-цифрових перетворювачів встановлюють RC-фільтри для приглушення перешкод і наведень. У колі живлення регулятора, як зазначено, використано декуплінг-конденсатори 100 μF і 100 nF для згладжування будь-яких сплесків струму при вимкненнях і запуску Wi-Fi модуля. Також рекомендується підбирати значення резисторів затримки чи потенціометрів (де передбачено) для тонкого налаштування діапазону вимірювань сенсорів.

3.2 Програмна та апаратна реалізація

Програмна частина проєкту реалізована на базі Arduino IDE з використанням бібліотек, адаптованих під ESP32. Основні функції коду включають:

- ініціалізацію сенсорів, зчитування аналогових і цифрових значень, їх обробку та конвертацію у фізичні одиниці;
- температурну компенсацію результатів вимірювання кислотності, електропровідності та мутності;
- формування пакетів даних для передачі у стандартизованому форматі MQTT;
- передача даних на сервер за допомогою бездротових інтерфейсів Wi-Fi;

Інтеграція апаратної та програмної складових здійснюється шляхом побудови циклічного алгоритму вимірювання та обміну даними. У певний інтервал часу (наприклад, кожні 10 хвилин) мікроконтролер активується, зчитує показники з усіх сенсорів, обробляє їх, та надсилає результати на сервер. Після завершення циклу пристрій переходить у режим глибокого сну, що дозволяє зменшити енергоспоживання до мінімуму. Цей алгоритм роботи зображено на рисунку 3.4.

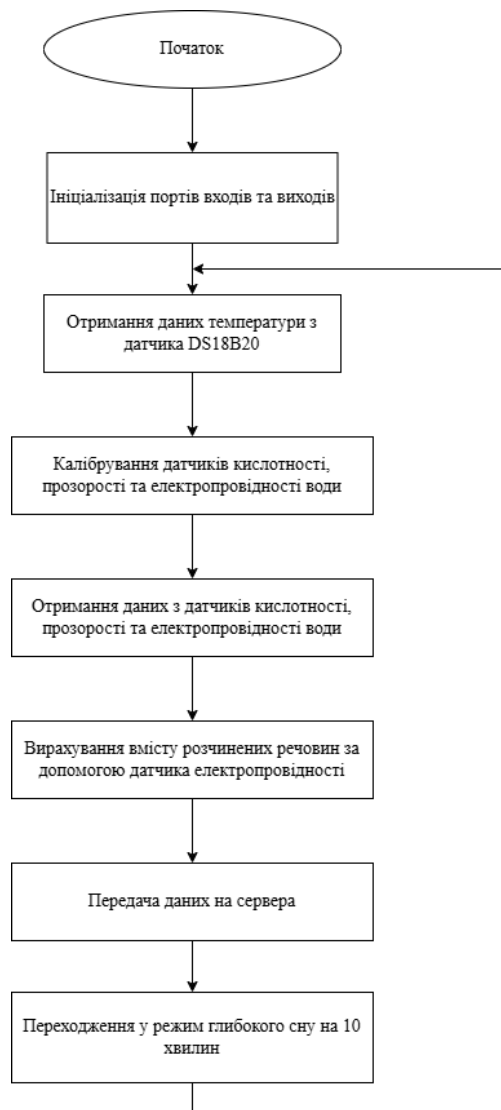


Рисунок 3.4 – Алгоритм роботи програми

Розроблена система моніторингу якості води на основі мікроконтролера ESP32 функціонує відповідно до детермінованого алгоритму, реалізованого у вигляді циклічної програми з етапами ініціалізації, збору даних, обробки, передачі та енергозбереження. Алгоритм, представлений у вигляді блок-схеми, охоплює послідовність дій, які забезпечують повноцінне вимірювання ключових параметрів водного середовища та їх надсилання на сервер для подальшої обробки й візуалізації.

Першим етапом є ініціалізація портів входів та виходів, що передбачає налаштування пінів мікроконтролера ESP32 для подальшої взаємодії з

підключеними сенсорами та периферією. Це включає встановлення режимів GPIO (вхід або вихід), активацію інтерфейсів I²C, UART або аналогових входів, а також початкове підключення до мережі Wi-Fi (за необхідності).

Далі відбувається отримання даних температури з цифрового термодавача DS18B20. Цей етап є критично важливим, оскільки температура використовується для подальшої температурної компенсації вимірювань інших сенсорів, таких як давачі кислотності (pH), електропровідності (EC) та прозорості. Отримані температурні значення зчитуються через 1-Wire інтерфейс у цифровому форматі, що забезпечує високу точність та стійкість до перешкод.

На наступному етапі проводиться калібрування сенсорів кислотності, прозорості та електропровідності води. Калібрування здійснюється відповідно до попередньо встановлених еталонних значень або кривих, що враховують змінні фактори навколишнього середовища. Такий підхід дає змогу скоригувати результати вимірювання відповідно до температури або початкових відхилень конкретного сенсора.

Після калібрування система переходить до зчитування актуальних даних з давачів pH, прозорості та електропровідності, що фіксують поточні гідрохімічні параметри води. Аналогові сигнали з відповідних сенсорів перетворюються у цифрові значення, які надалі масштабуються у фізичні одиниці (pH, ppm, μ S/cm тощо).

Окремим етапом є вирахування вмісту розчинених речовин (TDS) на основі значення електропровідності. Це перетворення здійснюється з використанням емпіричного коефіцієнта, що дозволяє оцінити загальну мінералізацію води в умовах обмежених ресурсів та без потреби у додатковому TDS-сенсорі.

Далі дані, отримані з усіх сенсорів, передаються на сервер, де відбувається їхнє зберігання, обробка й візуалізація. Передача здійснюється за допомогою MQTT через вбудований Wi-Fi-модуль мікроконтролера. У результаті маємо змогу в реальному часі переглядати показники та приймати рішення щодо стану водного середовища.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завершальним етапом є перехід у режим глибокого сну (deep sleep) на період 10 хвилин, що забезпечує суттєву економію енергії, особливо в умовах автономного живлення. У цьому режимі більшість підсистем ESP32 вимикаються, залишаючи активним лише годинник реального часу (RTC), який відповідає за пробудження мікроконтролера через заданий інтервал.

Таким чином, розроблений алгоритм забезпечує ефективну реалізацію циклічного процесу моніторингу якості води з урахуванням точності, стабільності та енергоефективності. Завдяки оптимальному розподілу обчислювальних та енергетичних ресурсів система здатна виконувати вимірювання у реальному часі, адаптуватись до зовнішніх умов та забезпечувати стабільну передачу екологічних даних у хмарні сервіси. Це дозволяє використовувати розроблену систему як науковий, освітній або практичний інструмент у сфері екологічного контролю водних ресурсів.

Програмний каркас побудовано за типовою схемою ESP32 в Arduino IDE. У функції `setup()` ініціалізуються бездротові інтерфейси (Wi-Fi), посилання на сенсори (налаштовується OneWire для DS18B20 тощо) та початкові константи калібрування. У нескінченному циклі `loop()` відбуваються: послідовне зчитування показів усіх сенсорів, обробка даних та відправка їх на сервер. Зчитування DS18B20 реалізовано через бібліотеку DallasTemperature, давачів мутності і рН – через `analogRead`, а ЕС/TDS – також як аналогове значення. Після отримання сирих показів застосовується калібрування. Наприклад, з рН-давачом працюють за двоточковим калібруванням у буферних розчинах (рН=7 та рН=4). Вимір від рН-електрода коригується згідно з формулою Нернста, що враховує температуру. Як зазначено в літературі, без температурної компенсації покази рН можуть втрачати точність понад 8%. Тому обов'язково зчитане значення DS18B20 підставляється в АТС-алгоритм (Automatic Temperature Compensation). Аналогічно, для давача ЕС/TDS виконується корекція за температурою: прийнято використовувати правило ~2% на кожний градус за Цельсієм (тобто приводити до еквівалента 25 °C). Оброблені дані можуть фільтруватися (наприклад, усередненням останніх N

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірів) для згладжування шуму. Далі мікроконтролер формує повідомлення (JSON) і передає його на сервер. Передача може здійснюватися за технологією Wi-Fi (через MQTT-брокер). При Wi-Fi зазвичай використовують стандартні бібліотеки MQTT (PubSubClient). Отримані дані надсилаються в хмару. Використовуємо IoT-платформу ThingsBoard, вона приймає дані по MQTT/HTTP та зберігає їх у своїй базі.

У межах реалізації системи моніторингу якості води особливу увагу було приділено вибору методу передачі даних між периферійним пристроєм (мікроконтролером ESP32) та серверною частиною системи. З огляду на потребу у низькому енергоспоживанні, мінімальному обсязі передаваних даних, стабільності у нестабільних мережевих умовах та простоті впровадження, доцільним виявилось застосування протоколу MQTT.

MQTT є легковагим мережевим протоколом, що побудований на основі архітектури "видавець-підписник" (publish-subscribe), на відміну від класичних моделей типу "клієнт-сервер". Така структура дозволяє суттєво знизити навантаження на кінцеві пристрої та підвищити надійність комунікації, що особливо важливо для енергообмежених пристроїв ESP32, які працюють в автономному режимі або з періодичними вклученнями.

Основним компонентом, що забезпечує маршрутизацію повідомлень між пристроями, виступає MQTT-брокер. Саме він приймає публікації від сенсорного вузла та розповсюджує їх серед усіх підписників відповідного каналу. У розробленій системі ESP32 виступає у ролі видавця (publisher), який періодично формує повідомлення із сенсорними даними та надсилає їх до брокера. Повідомлення має формат JSON і включає поля, що містять актуальні значення температури, рН, електропровідності, мутності та часову мітку.

JSON є текстовим форматом, який забезпечує зручну передачу даних у вигляді пар ключ-значення. Його універсальність та сумісність із більшістю сучасних протоколів, зокрема HTTP та MQTT, робить його одним із

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найпоширеніших форматів для обміну інформацією в системах Інтернету речей (IoT), включно з екологічним моніторингом.

У контексті даного проєкту, структура повідомлення у форматі JSON формується на рівні прошивки мікроконтролера. Після обробки сигналів від давачів (рН, температури, електропровідності, прозорості) та виконання необхідної калібрувальної та температурної корекції, отримані значення перетворюються у текстову структуру. Нижче подано приклад такої структури повідомлення:

```
{  
  "timestamp": "2025-06-13T12:45:30Z",  
  "temperature": 22.4,  
  "ph": 7.12,  
  "ec": 345.7,  
  "tds": 221.2,  
  "turbidity": 12.6  
}
```

У цьому прикладі:

timestamp - позначає дату та час вимірювання у форматі ISO 8601 (UTC). Це забезпечує можливість аналізу динаміки змін параметрів у хронологічній послідовності.

temperature - значення температури води, отримане з давача DS18B20, в градусах Цельсія.

ph - показник кислотності води після температурної компенсації.

ec - електропровідність (Electroconductivity), виміряна у мікросіменсах на сантиметр ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

tds - загальна кількість розчинених речовин (Total Dissolved Solids) в ppm.

turbidity - мутність (прозорість води) у значеннях NTU (nephelometric turbidity units), обчислена згідно з калібрувальною формулою.

Формування JSON-повідомлення реалізується за допомогою відповідних бібліотек для ESP32, таких як ArduinoJson. Використання цієї бібліотеки дозволяє оптимізувати обсяг пам'яті, який виділяється для структури JSON, та уникнути перевантаження системи при роботі з великими обсягами даних. Створене

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повідомлення серіалізується у вигляді символьного рядка та передається по бездротовому з'єднанню на сервер.

На стороні приймача (ThingsBoard), отримане повідомлення парситься, і дані зберігаються у базі, де можуть бути використані для побудови графіків, інтерпретації, сповіщення тощо.

Важливо підкреслити, що формат JSON є незалежним від апаратної частини системи, що робить його ідеальним у випадках, коли система моніторингу має масштабуватись або інтегруватись з іншими об'єктами інфраструктури - такими як системи оповіщення, бази даних спостережень чи державні екологічні реєстри.

Таким чином, застосування JSON у даній роботі виступає не лише як зручний спосіб організації переданих даних, але й як ключовий елемент забезпечення гнучкості, сумісності та розширюваності кіберфізичної системи моніторингу довкілля.

З технічного погляду, обмін даними здійснюється через TCP-порт (типово 1883 або 8883 для захищеного з'єднання TLS), а ESP32 підключається до Wi-Fi-мережі та ініціює сесію з брокером, після чого починає циклічну публікацію даних у визначений топік.

Суттєвою перевагою MQTT є його підтримка рівнів якості обслуговування (QoS):

QoS 0 - повідомлення надсилається один раз без підтвердження доставки;

QoS 1 – повідомлення надсилається доти, поки не буде підтверджено отримання;

QoS 2 – гарантується однократне отримання, з уникненням дублювання.

У системах моніторингу якості води найчастіше достатнім є рівень QoS 1, що балансує між енергозбереженням і надійністю.

Ще однією важливою функціональністю MQTT є підтримка збереження останнього повідомлення (last will message), що дає змогу серверам отримати інформацію про відключення вузла (наприклад, у разі втрати зв'язку з ESP32).

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації MQTT-підключення на рівні коду в Arduino IDE використовують бібліотеку PubSubClient, яка сумісна з ESP32. Типова логіка роботи включає ініціалізацію Wi-Fi-з'єднання, авторизацію на брокері, публікацію повідомлення у циклі та повторну спробу підключення у разі втрати зв'язку. У реальному проєкті обмін даними може здійснюватися кожні 1–10 хвилин, залежно від частоти вимірювань та обмежень живлення.

Таким чином, протокол MQTT демонструє високу ефективність у сфері екологічного моніторингу: він надає мінімальне навантаження на канал зв'язку, працює з нестабільними мережами, легко масштабується та інтегрується з широким спектром серверних і візуалізаційних рішень. У сукупності з ESP32 MQTT забезпечує надійний і гнучкий механізм доставки критично важливої інформації про стан водного середовища, що дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі достовірних даних.

Однією з найважливіших передумов забезпечення достовірності та точності вимірювань у системах моніторингу є коректне калібрування сенсорів. У межах цієї дипломної роботи було використано декілька типів сенсорів - для вимірювання температури (DS18B20), кислотності (рН-електрод), електропровідності (TDS/EC) та прозорості води (давач мутності). Усі вони потребують налаштування індивідуальних параметрів з урахуванням умов експлуатації та властивостей вимірюваного середовища.

Давачи кислотності працюють на основі електрохімічного принципу, формуючи аналоговий сигнал (напругу), пропорційний концентрації іонів гідрогену у воді. Для переведення цього сигналу у значення рН необхідно провести попереднє калібрування. Найпоширенішим є двоточковий метод калібрування, що передбачає використання буферних розчинів з відомими рН (наприклад, рН = 7.00 і рН = 4.00). В умовах лабораторного або польового калібрування сенсор занурюється у перший розчин (нейтральний), фіксується відповідне значення напруги, після чого аналогічна процедура виконується для другого розчину

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(кислого або лужного). На основі цих значень будуються коефіцієнти лінійної інтерполяції, що дозволяють обчислювати рН з а ф о р м у л о ю:

$$\text{pH} = k \cdot V_{\text{out}} + b$$

де V_{out} - напруга на виході сенсора,

k та b - коефіцієнти, отримані внаслідок калібрування.

Окрему роль відіграє температурна компенсація. Згідно з рівнянням Нернста, чутливість рН-електрода змінюється з температурою. Стандартна чутливість при 25°C становить 59.16 мВ/рН, однак з підвищенням температури цей коефіцієнт зростає. Тому при практичному використанні у прошивці контролера реалізовано компенсаційний алгоритм, що враховує температуру, виміряну з датчика DS18B20, для коректного визначення рН у змінному температурному середовищі.

Датчики електропровідності вимірюють здатність води проводити електричний струм, що залежить від концентрації розчинених іонів. У системі було використано аналоговий сенсор TDS (Total Dissolved Solids), сигнал з якого також обробляється на АЦП ESP32. Первинне калібрування здійснюється шляхом порівняння показів сенсора з референсними значеннями у стандартних розчинах (наприклад, 707 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Зазвичай виробники надають таблиці або коефіцієнти перетворення сигналу в фізичну одиницю вимірювання ($\mu\text{S}/\text{cm}$ або ppm), що дозволяє здійснити апроксимацію функції:

$$\text{EC} = a \cdot V_{\text{adc}} + c,$$

де a - коефіцієнт масштабування,

c - зсув (offset),

V_{adc} - значення напруги, зчитане АЦП.

Крім того, електропровідність суттєво залежить від температури води. Для нормалізації результатів використовується температурний коефіцієнт, що зазвичай

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становить 2%/°C. Це означає, що при кожному градусі відхилення від температури 25°C електропровідність змінюється приблизно на 2%. Отже, реальне значення ЕС визначається за формулою:

$$E_{Ccomp} = \frac{E_{Craw}}{1 + \alpha \cdot (T - 25)},$$

де α - температурний коефіцієнт (0.02),

T - температура, виміряна з DS18B20,

E_{Craw} - вихідне значення електропровідності без корекції.

Давач мутності (SEN0189) має фотодіод, який реагує на розсіяне світло, та видає аналоговий сигнал на основі інтенсивності пропущеного світлового потоку. Згідно з документацією, у прозорій воді (0 NTU) напруга на виході має бути максимальною (приблизно 4.2 В), а зі зростанням мутності - знижуватись.

Для переведення напруги у значення мутності (в одиницях NTU - nephelometric turbidity units) виконується калібрування у розчинах з відомим рівнем мутності. В результаті складається емпірична формула:

$$NTU = -1120.4 \cdot V^2 + 5742.3 \cdot V - 4352.9,$$

де V - напруга з виходу сенсора (в В).

У практичному застосуванні, для спрощення розрахунків, часто використовують лінійне наближення у межах обраного діапазону значень.

Слід зазначити, що давач мутності чутливий до температури, забруднення оптичної частини та зовнішнього освітлення. Тому його калібрування потребує періодичного повторення та механічного очищення зони давача, особливо у польових умовах.

Після первинного калібрування здійснюється верифікація сенсорів у контрольованих умовах. Отримані дані порівнюються з лабораторними

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показниками або результатами сертифікованих приладів. У разі значного розбігу результатів виконується уточнення коефіцієнтів масштабування, температурної компенсації або зсуву.

З метою збереження калібрувальних параметрів передбачено використання енергонезалежної пам'яті мікроконтролера або SD-карти, де зберігаються останні налаштування. Це дозволяє уникати повторного калібрування при кожному перезапуску системи, забезпечуючи стабільність та надійність вимірювань протягом тривалого періоду експлуатації.

Програмне забезпечення написано у середовищі Arduino IDE, що дозволяє легко інтегрувати драйвери сенсорів, обробляти вхідні дані та реалізовувати логіку відправлення результатів. Дані з давача рН зчитуються через аналоговий порт і конвертуються у значення рН-шкали за допомогою лінійного перетворення, яке враховує температуру води, зчитану з DS18B20.

Розроблена система на основі ESP32 забезпечує комплексний підхід до моніторингу якості води у водосховищах. Завдяки поєднанню сенсорів температури, мутності, рН та візуального контролю прозорості, вона дозволяє отримувати повну картину екологічного стану водойми в реальному часі. Бездротова передача даних, автономне живлення та масштабована архітектура забезпечують гнучкість впровадження в різних географічних та кліматичних умовах.

3.3 Висновки

У третьому розділі було розглянуто практичну реалізацію кіберфізичної системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі мікроконтролера ESP32. Проведено детальний опис програмної та апаратної архітектури проєкту, що охоплює етапи проєктування, вибору компонентів, алгоритм роботи пристрою, підключення давачів і логіку обміну даними з сервером.

Апаратна частина системи включає мікроконтролер ESP32-WROOM-32UE, який завдяки вбудованому модулю Wi-Fi забезпечує бездротову передачу даних у режимі реального часу. Також інтегровано низку сенсорів, зокрема: DS18B20 - для вимірювання температури води, TDS/EC - для визначення електропровідності, рН-давач - для контролю кислотності, сенсор каламутності - для оцінки прозорості. Усі ці параметри є ключовими індикаторами стану водного середовища. Реалізація системи передбачає модульне з'єднання компонентів з урахуванням герметизації з метою захисту від впливу водного середовища.

У програмній частині було реалізовано алгоритм роботи системи, що складається з кількох етапів: ініціалізація, зчитування температури, калібрування сенсорів, отримання гідрохімічних параметрів, розрахунок концентрації розчинених речовин, передача даних на сервер і перехід у режим енергозбереження. Описано використання технологій глибокого сну ESP32 для забезпечення енергоефективної роботи в автономному режимі.

Окрему увагу приділено стабілізації вимірювань за допомогою додаткових електричних компонентів, зокрема резисторів, що знижують шум та коливання в сигнальних лініях сенсорів. Ураховано фізичні обмеження роботи давачів, вимоги до температурного режиму, а також просторове розміщення зонда в середовищі спостереження.

Таким чином, у результаті реалізації третього етапу проєкту було створено функціональний прототип системи, здатної виконувати автоматизований моніторинг якості води. Результати цього етапу свідчать про технічну доцільність і практичну можливість масштабування системи з урахуванням екологічних, технічних і економічних факторів. Отримані напрацювання закладають підґрунтя для подальшого вдосконалення системи з можливістю впровадження у реальні умови експлуатації.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено, обґрунтовано та реалізовано кіберфізичну систему віддаленого моніторингу якості води у водосховищах із використанням мікроконтролера ESP32 та низки сенсорів для вимірювання ключових фізико-хімічних параметрів. Отримані результати підтверджують доцільність застосування сучасних мікропроцесорних засобів для вирішення екологічно значущих завдань, таких як контроль стану водного середовища у режимі реального часу.

У першому розділі проведено комплексний аналіз сучасного стану водних ресурсів України, зосереджений на актуальності проблеми забруднення водосховищ, наслідках для довкілля та здоров'я населення, а також нормативно-правовому забезпеченні у сфері охорони вод. Особливу увагу приділено національним стандартам якості води — ДСТУ, СанПіН, гранично допустимим концентраціям (ГДК) для різних категорій використання (питне, рекреаційне, рибогосподарське). Розглянуто досвід впровадження подібних систем моніторингу як в Україні, так і за кордоном. На основі цього було визначено основні технічні та функціональні вимоги до створюваної системи.

У другому розділі проведено технічне обґрунтування вибору апаратних засобів системи, зокрема мікроконтролера ESP32 як головного обчислювального вузла, що забезпечує зчитування, обробку та передачу даних. Визначено сенсори для вимірювання температури (DS18B20), кислотності (рН-електрод), електропровідності (TDS/EC) та мутності (Turbidity Sensor), які дозволяють комплексно оцінювати якість води. Розглянуто електричні, інтерфейсні та конструктивні особливості компонентів, принципи їх підключення до мікроконтролера. Окремо охарактеризовано модулі живлення (сонячна панель, акумуляторна батарея, стабілізатор напруги), способи захисту електроніки від впливу вологи, температурних коливань і механічних навантажень.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі здійснено реалізацію програмної та апаратної частин системи моніторингу. Розроблено електрична-принципова схема, описано структуру прошивки, алгоритми зчитування аналогових і цифрових сигналів, реалізовано температурну компенсацію для підвищення точності показів рН та електропровідності. Запроваджено передачу даних у форматі JSON через Wi-Fi на віддалений сервер, з можливістю подальшої обробки, зберігання та візуалізації у хмарному середовищі. Реалізовано механізм калібрування сенсорів у лабораторних умовах, включно з використанням буферних розчинів для рН-давача, калібрувальних рідин для TDS/EC і мутності.

Отримані результати свідчать про працездатність створеної системи в умовах, наближених до реальних, її адаптивність до різних параметрів водоймищ, а також потенційну масштабованість на інші географічні точки або типи водних об'єктів. Інтерфейс користувача забезпечує зручне отримання даних у режимі реального часу, з можливістю подальшого аналізу та формування аналітичних звітів.

Таким чином, сформульована та реалізована концепція кіберфізичної системи моніторингу якості води продемонструвала ефективність у рамках вирішення поставленої екологічної задачі. Розробка є прикладом практичного поєднання знань у галузі електроніки, програмування, систем автоматизації та екології. Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію з геоінформаційними системами, впровадження мобільного застосунку для контролю параметрів, а також розширення набору сенсорів для більш глибокої гідрохімічної діагностики.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Павлюк І. О. Інтернет речей: перспективи застосування у водному господарстві. *Технології захисту довкілля*. 2023. № 1(29). С. 15–22.
2. Тесля Ю. І. Сучасні сенсорні технології у системах екологічного моніторингу *Екологічний вісник України*. 2021. № 4. С. 42–47.
3. Internet of Things Laboratory. Smart Water Monitoring Projects – URL: <https://iotlab.com/projects/water> (дата звернення: 25.05.2025).
4. Sayed M. et al. A Review on IoT-based Water Quality Monitoring Systems *Environmental Monitoring Journal*. 2022. P. 3–5.
5. Khan A. et al. ESP32 and Firebase Integration for Remote Water Monitoring *Computer Applications & Engineering*. 2023. P. 12–17.
6. Постанова КМУ № 927 від 19 серпня 2020 р. «Про затвердження Водної стратегії України на період до 2030 року».
7. ISO 5667-3:2020. Water quality – Sampling – Part 3: Preservation and handling of water samples.
8. ГОСТ 31861-2012. Вода. Загальні вимоги до відбору проб. (діє в Україні як міждержавний стандарт).
9. Козак І. А. Інтелектуальні системи моніторингу водних ресурсів на основі ESP32 *Вісник ТНТУ*. 2022. № 1(65).
10. Федоренко Н. Г. Застосування IoT у природоохоронних системах України *Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова* 2021. Серія 3. Вип. 41. С. 42–47.
11. TS-300B <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-turbidity-sensor-v10-with-wires-compatible-with-arduino-for-water-testing> (дата звернення: 4.05.2025).
12. Gupta A. et al. Comparative Study of pH and EC Sensors *International Journal of Applied Science and Engineering*. 2020. P. 22–25.
13. Давач температури LM35 <https://beegreen.com.ua/davach-temperaturi-lm35-arduino-11741> (дата звернення: 14.05.2025).

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. IoT в освіті: практики використання ESP32 у ЗВО *Освіта і техніка*. 2022. № 3. С. 18–21.
15. Мережа UWC. Електронний моніторинг стану водойм України. *Київ: УЦЕВ*, 2023. С. 11–12.
16. Khan R. et al. Solar Powered IoT-based Water Sensor Node *Green Computing and IoT Journal*. 2022. P. 10.
17. Шинкаренко А. Ю. Водні стандарти України: стан гармонізації з європейськими директивами *Екологія і довкілля*. 2021. № 2. С. 3–5.
18. Дачч температури DS18B20 <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-temperature-ds18b20> (дата звернення: 17.04.2025).
19. TCP/IP Protocol Stack for ESP32 *.Espressif Documentation*. <https://docs.espressif.com> (дата звернення: 13.05.2025).
20. Маляренко В. П. Системи візуалізації в інженерії довкілля *Техноекологія*. 2020. № 2(16).
21. АкваІнформ. Водна якість в Україні: моніторинг 2020–2023. – Київ: Аналітичний центр з водної політики, 2023. С. 5-7.
22. Водні ресурси України. Щорічна доповідь Держводагентства. 2022.
23. Solis J. et al. Calibration of Water Quality Sensors for Field Deployment *Instrumentation Science & Technology*. 2023. P. 9–10.
24. Колос С. М. Тренди цифровізації екологічного моніторингу *Екологія. Людина. Право*. 2021. № 1. С. 13–18.
25. ДФРобот. Модуль мутності води SEN0189 <https://wiki.dfrobot.com/SEN0189> (дата звернення: 8.04.2025).
26. Асоціація водоканалів України. Актуальні нормативи з якості питної води. – 2023.
27. Протоколи передачі IoT-даних: MQTT та CoAP *ІнфоСвіт*. 2021. № 6. С. 9–13.
28. Camargo E. T. et al. Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 9. P. 4424.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. Gravity Analog Electrical Conductivity Sensor Meter V2 K=1 https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300 (дата звернення: 23.05.2025).

30. Syed Taha S. N. et al. Evaluation of LoRa Network Performance for Water Quality Monitoring Systems *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 16. P. 7136.

31. Yaacob N. et al. IoT-Water Quality Monitoring System Using ESP32 *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*. 2025. Vol. 65, No. 1. P. 14–26.

32. DFRobot. Gravity: Analog pH Sensor /Meter Kit V2 . URL: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU__SEN0161_V2_ (дата звернення: 17.03.2025).

33. DFRobot. Gravity: Analog TDS Sensor / Meter . URL: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244_ (дата звернення: 12.03.2025).

34. Arduino. ESP32 Wi-Fi + Bluetooth Module . URL: <https://www.arduino.cc> (дата звернення: 22.03.2025).

35. ThingsBoard. Open-source IoT Platform . URL: <https://thingsboard.io/> (дата звернення: 1.05.2025).

36. Постанова КМУ від 17.02.2021 № 113 "Про внесення змін до Порядку підготовки та оприлюднення Національної доповіді про якість питної води..." *Офіційний вісник України*. 2021. № 18. С. 1-3.

37. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption *Official Journal of the European Union*. 2020. L435. P. 1–62.

38. TP4056 Type-C <https://www.mini-tech.com.ua/modul-zaryada-li-lon-tp4056-type-c> (дата звернення: 14.05.2025).

39. Mahajan S. et al. ESP32-based water parameter monitoring system for aquaponics *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. P. 9-14.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

40. IEEE Xplore. IoT Water Monitoring Papers . URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата звернення: 7.04.2025).
41. Rao K. S. et al. Remote water quality monitoring using ESP32 and sensors *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2023. P. 25.
42. Sharma R. et al. Environmental sensing using open-source platforms *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2022. P. 40–50.
43. Барометр BME280 <https://arduino.ua/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya?srsId=AfmBOopt6eSSwnb-5qeGdJOJHsQqmw-QVYtUNVhIx0csha2wjLegVUNC> (дата звернення: 11.03.2025).
44. Мінагрополітики України. Державні стандарти контролю водних ресурсів . URL: <https://minagro.gov.ua> (дата звернення: 23.05.2025).
45. Вікіпедія. ESP32. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ESP32> (дата звернення: 6.03.2025).
46. DHT22 Sensor Datasheet . URL: <https://components101.com/sensors/dht22> (дата звернення: 13.05.2025).
47. Khan M. et al. IoT Applications for Smart Cities: Water Monitoring *Smart Cities Journal*. 2023. P. 30.
48. Qureshi A. et al. Efficient Real-Time Monitoring Using ESP32 in IoT *Sensors*. 2024. P. 15.
49. DFRobot Gravity - analog ph Pro sensor/meter <https://botland.store/gravity-temperature-sensors/6112-dfrobot-gravity-analog-ph-pro-sensormeter-6959420908417.html> (дата звернення: 12.05.2025).
50. Sahu A. et al. Comparison of LoRa, WiFi and Zigbee for Water Monitoring // *International Journal of Wireless Networks*. 2021. P. 1-7.
51. Sharma N. et al. Water Quality Visualization Using Grafana *IoT Systems and Analytics Journal*. 2024. P. 4.
52. Thakur S. et al. Solar-powered ESP32 system for lake monitoring *Green Technology Journal*. 2022. P. 2-6.

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

53. Roy S. et al. Machine Learning-enhanced IoT Water Monitoring *Procedia Computer Science*. 2024. P. 5-10.

54. Nguyen H. et al. Secure MQTT-based data transmission in ESP32 *Computer Networks and IoT*. 2023. P. 9.

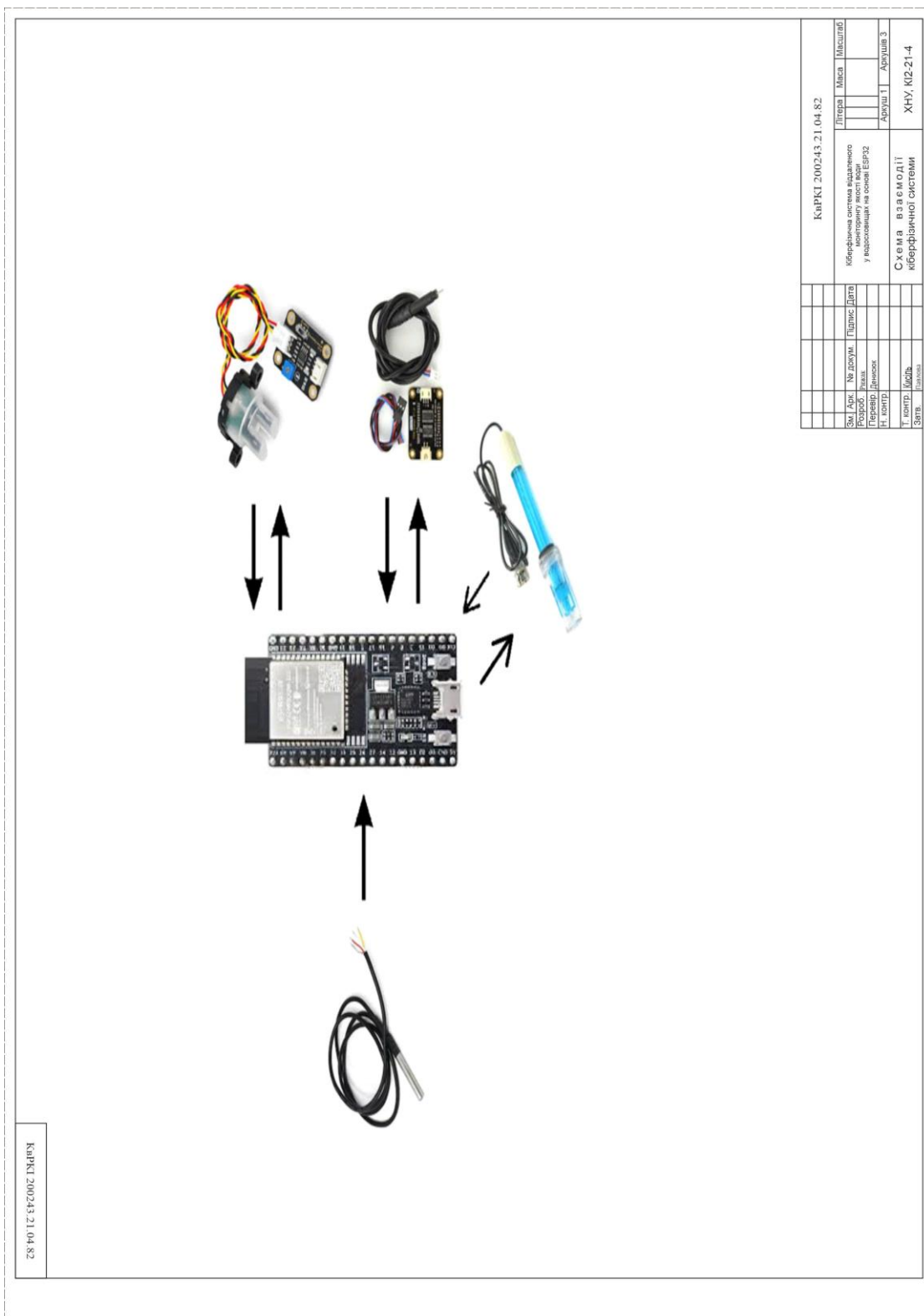
55. Arduino Project Hub. Water Quality Monitor . URL: <https://create.arduino.cc/projecthub> (дата звернення: 13.03.2025)

56. Український центр водної екології. Щорічна доповідь про стан поверхневих вод України. *Київ: УЦВЕ, 2022.*

					КВРКІ.200243.21.04.82 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Додаток А (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ»

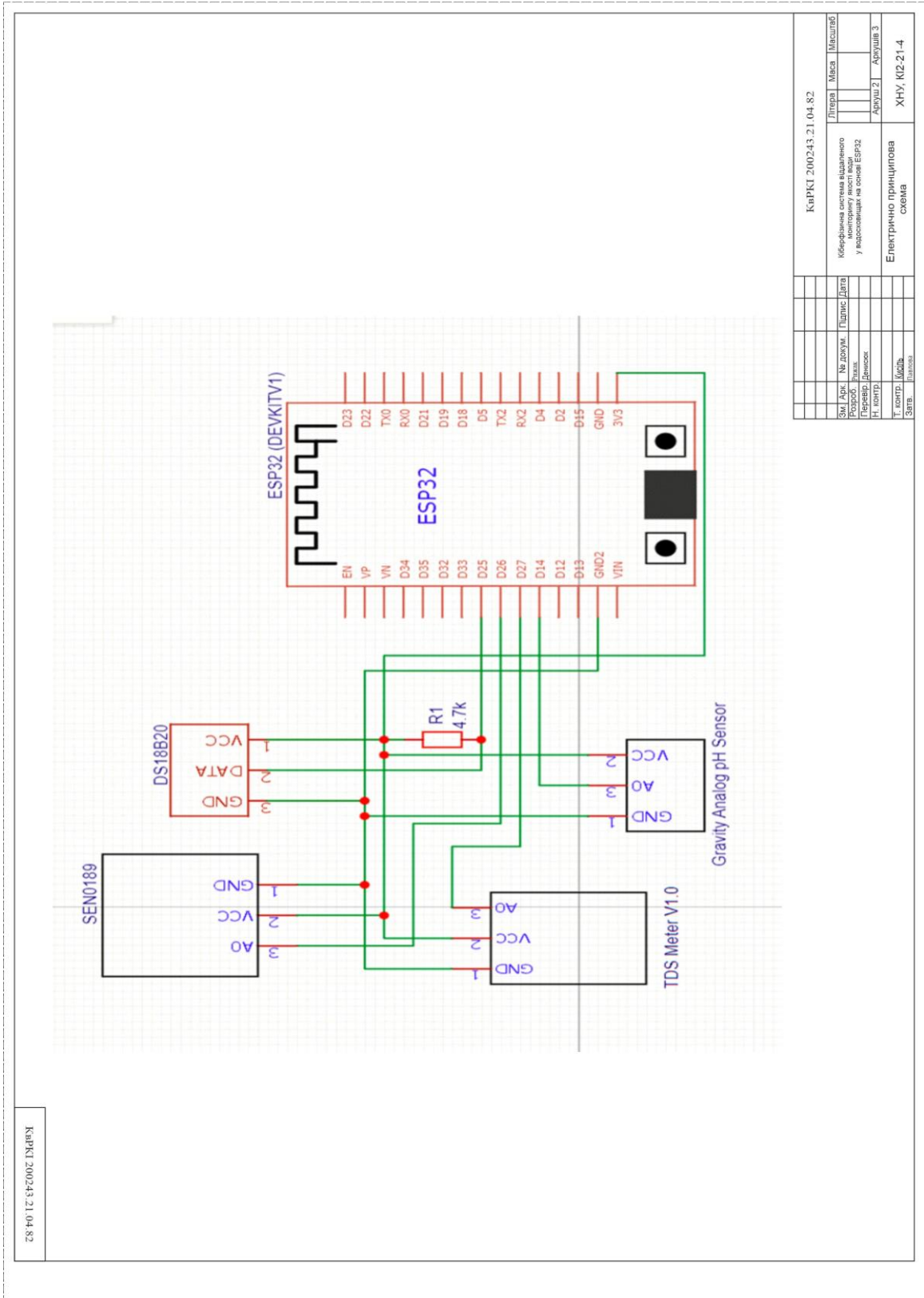


КіРРКТ 200243.21.04.82

КіРРКТ 200243.21.04.82			
Літера	Міся	Масштаб	
Киберфизична система взаємодії у водосховищах на основі ESP32			
Стр. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Редак.	Відредак.	Відомості
Н. Контр.			
Т. контр.	Модиф.	Схема взаємодії киберфизичної системи	ХНУ, КІ2.21-4
Звіт.	Підпис		

Додаток Б (обов'язковий)

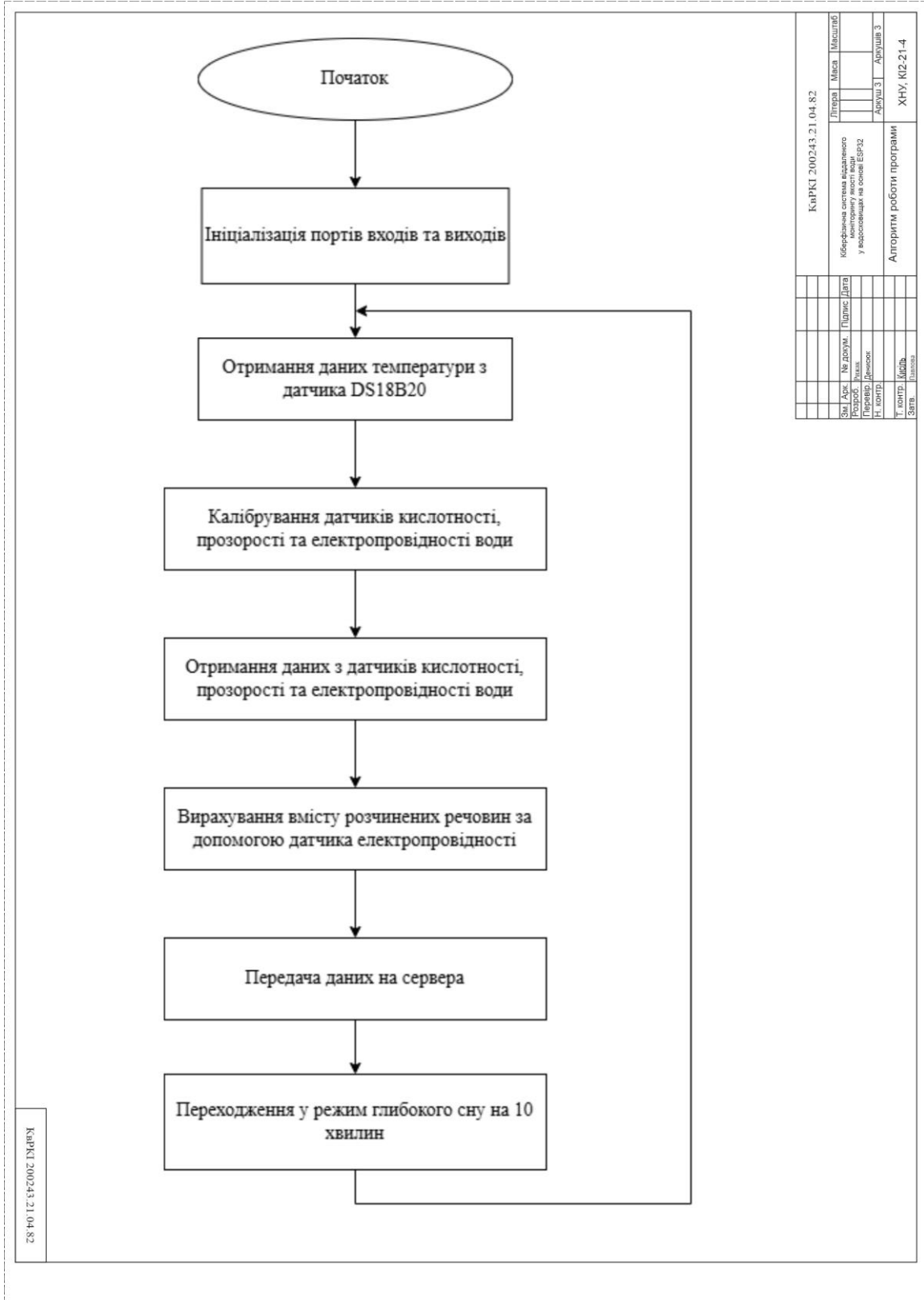
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА»



КлірКІ 200243.21.04.82

Додаток В
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРОГРАМИ»



Код ПКІ 200243.21.04.82

Код ПКІ 200243.21.04.82		Літера	Місяць	Масштаб
Змі. Акт.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.	Річка			
Керув.	Демоско			
Н. зам.				
Т. контр.	Кільк.			
Зам.	Підпис			
Керівник системи вимірювання у водосховищах на основі ESP32				Аркуш 3
Алгоритм роботи програми				ХНУ, КІ2-21-4

Додаток Г
(обов'язковий)

КОД ДЛЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32

```
float temperature = 25.0;
float pHVoltage, pHValue;
float turbidityVoltage, turbidityValue;
float tdsVoltage, ecValue, tdsValue;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  // Отримання температури
  sensors.requestTemperatures();
  temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Читання напруги рН (в милівольтах)
  pHVoltage = analogRead(PH_PIN) * 3.3 / 4095.0;
  // Проста формула калібрування рН з урахуванням температури
  // Базова формула: рН = 7 + (2.5 - V) * коефіцієнт
  float pHslope = -5.7 + 0.02 * (temperature - 25); //
  температурна компенсація
  pHValue = 7 + (2.5 - pHVoltage) * pHslope;

  // Прозорість (мутність)
  turbidityVoltage = analogRead(TURBIDITY_PIN) * 3.3 / 4095.0;
  // Емпірична формула для розрахунку NTU
  if (turbidityVoltage < 2.5) {
    turbidityValue = 3000 * turbidityVoltage * turbidityVoltage
- 5000 * turbidityVoltage + 2500;
```

```

} else {
    turbidityValue = 0; // прозора вода
}
// EC / TDS
tdsVoltage = analogRead(TDS_PIN) * 3.3 / 4095.0;
float rawEC = (tdsVoltage / 3.3) * 1000; // спрощений EC
(µS/cm)
float tempCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
ecValue = rawEC / tempCoefficient;
tdsValue = ecValue * 0.64; // емпіричне перетворення в ppm

// Вивід результатів
Serial.print("Температура: ");
Serial.print(temperature); Serial.println(" °C");

Serial.print("pH: ");
Serial.println(phValue, 2);

Serial.print("Мутність (розрахункова): ");
Serial.println(turbidityValue);

Serial.print("EC: ");
Serial.print(ecValue); Serial.println(" µS/cm");

Serial.print("TDS: ");
Serial.print(tdsValue); Serial.println(" ppm");
Serial.println("-----");
delay(5000); // Пауза 5 секунд
}

```

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Богдана РИЖАКА

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-4

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

19.06 2025 року

Рижак

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Рижак Богдан Віталійович

Тема: Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є створення системи віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено детальне дослідження предметної області, що охоплює екологічні, технічні та нормативні аспекти якості води у водосховищах. Зокрема, проаналізовано чинні державні стандарти (ДСТУ, СанПіН) та гранично допустимі концентрації основних забруднюючих речовин. Розглянуто сучасні методи моніторингу та приклади впроваджених кіберфізичних систем в Україні та за кордоном. Проведено порівняльний аналіз технічних можливостей мікроконтролера ESP32, його модифікацій та сумісних сенсорів, що дозволило обґрунтувати вибір апаратної платформи. У результаті сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також визначено технічні вимоги до розроблюваної системи.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання архітектури кіберфізичної системи, зокрема описано принцип роботи сенсорних модулів (рН, електропровідності, мутності, температури), способи їх підключення до ESP32, протоколи обміну даними (I²C, UART, 1-Wire, аналогові входи).

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну та програмну реалізацію системи моніторингу. Детально розроблено схему апаратної взаємодії між модулями; описано енергозабезпечення системи на основі літієвої батареї, сонячної панелі та зарядного модуля TP4056 з використанням стабілізатора напруги. Значну увагу приділено алгоритмам попередньої обробки та калібрування даних, включаючи температурну компенсацію для рН та ЕС-сенсорів, а також формування повідомлень у форматі JSON. Визначено хмарні платформи для зберігання, обробки та візуалізації даних (Firebase, ThingsBoard, Grafana) та розглянуто варіанти побудови веб-інтерфейсу користувача. Розроблено електрично принципову схему пристрою та описано логіку роботи кожного модуля. Здійснено написання прошивки для ESP32 в середовищі Arduino IDE з реалізацією алгоритмів зчитування та передавання даних на сервер.

4. Позитивні сторони роботи: комплексне використання сенсорів для багатопараметричного аналізу якості води.

5. Негативні сторони роботи: обмежене охоплення питань захисту інформації при передачі даних у відкритих мережах.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

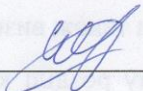
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Степан Шекета Васильович др. фізики, а. викладач,
кер. кібербезпеки

“19” 06 2025 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32

Автор: Богдан РИЖАК

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Дмитро ДЕНИСЮК, старший викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:




- 1) запозичення розміщено виключно у розділах, присвячених аналізу існуючих технічних рішень, аналогів та прототипів, які мають оглядовий характер і не містять оригінальних результатів дослідження автора;
- 2) усі випадки текстових збігів є фрагментарними та супроводжуються належним чином оформленими бібліографічними посиланнями на джерела відповідно до вимог академічної доброчесності;
- 3) частина виявлених збігів стосується загальноживаних технічних або термінологічних формулювань, що підтверджується наявністю ідентичних фрагментів у десятках різних джерел, що виключає їх оригінальність як авторського тексту;
- 4) також було виявлено збіги, що стосуються специфічних позначень у формулах, які включають поєднання латинських символів з українськими скороченнями індексів.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 1.6% та системою Anti-Plagiarism складає 0.0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Дмитро ДЕНИСЮК

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 12%

ID: 246772 Title: БКР Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32 Added in a DB: 2025-06-18 Authors: Богдан РИЖАК Heads: Дмитро ДЕНИСЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	91332	666	814 (1%)	11 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Богдан РИЖАК

Співавтор:

Назва: Рижак_Кіберфізична система віддаленого моніторингу якості води у водосховищах на основі ESP32

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 1.6%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 48

Заміна букв: 4

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-18 17:58:13.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-18

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт