

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень


Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина
Назва теми

КВРКІ 210364.21.03.06 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 КІ2-21-3  Максим КОЛЕСНИК
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  Петро ВІЖЕВСЬКИЙ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем  Ольга ПАВЛОВА
Підпис Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

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

Колесніку Максиму Григоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина

Керівник проекту (роботи) Петро Віжевський, асистент

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 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)

Кіберфізична система моніторингу стану води та постановка задачі щодо її реалізації

Проектування апаратної частини кіберфізичної системи моніторингу стану води

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи моніторингу стану води

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

Архітектура апаратної частини

Схема алгоритмів роботи пристрою

Принципова схема апаратної частини

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагиат	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 задач	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи	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

Максим КОЛЕСНИК

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Петро ВІЖЕВСЬКИЙ

Підпис

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина».

Автор роботи: Колеснік Максим Григорович.

Керівник роботи: Віжевський Петро Володимирович

Пояснювальна записка: 61 с., 3 рис., 4 табл., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ. АПАРАТНА ЧАСТИНА.

Основна мета цього проєкту розробити апаратну частину інтелектуальної системи, здатної в автоматичному режимі та в реальному часі здійснювати контроль за якістю води. Для досягнення цієї мети передбачається використання сучасних сенсорних технологій, а також спеціалізованих пристроїв для збору, обробки та подальшої передачі отриманих даних. Ключова увага в проєкті зосереджена на оптимальному виборі різноманітних датчиків, центрального контролера, ефективних блоків живлення та надійних засобів зв'язку. Крім того, важливим аспектом є розробка такої архітектури системи, яка б найкращим чином відповідала умовам її практичного застосування, враховуючи вимоги до енергоефективності та можливості її подальшого масштабування.

У рамках цього дослідження розглядається інтелектуальна система, основним завданням якої є збір різноманітних даних, що відображають поточний стан водного середовища, та їх подальша передача для аналізу та зберігання.



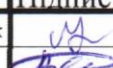
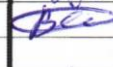


Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	5
1.1 Аналіз структурних та функціональних особливостей кіберфізичної системи моніторингу стану води	5
1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення кіберфізичної системи моніторингу водного середовища	8
1.3 Особливості розгортання та експлуатації системи в реальних умовах. 12	
1.4 Інтеграція даних у цифрові екосистеми та перспективи застосування. 14	
1.5 Висновки до першого розділу.....	18
2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ	20
2.1 Загальні принципи побудови апаратної частини системи.....	20
2.2 Центральний обчислювальний модуль.....	22
2.3 Сенсори для вимірювання параметрів води	26
2.4 Модулі живлення та зв'язку.....	32
Ємність 3000–5000 мА·год.....	36
2.5 Конструктивне виконання та монтаж	36
2.6 Висновки до другого розділу	40
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ	43
3.1 Загальна структура реалізації системи	43
3.2 Вибір середовища моделювання: Tinkercad	46
3.3 Обґрунтування вибору основних електронних компонентів	49
3.4 Побудова схеми у Tinkercad та логіка роботи.....	52
3.5 Аналіз результатів симуляції та тестування.....	57
3.6. Висновки до розділу 3	60
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	66

КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Максим Колеснік		
Перевір.		Петро Віжевський		
Н.контр.		Тетяна КИСЛЬ		12.08.15
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		14.08.15
Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина				
			Літера	Аркул
			у	2
			Аркушів	
			72	
ХНУ КІ2-21-3				

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена критичною роллю якості води як ключового індикатора екологічного стану та здоров'я населення в умовах посилення антропогенного впливу та глобальних кліматичних змін. Забезпечення ефективного моніторингу водних ресурсів є нагальною потребою. Перспективним підходом до вирішення цієї задачі є впровадження кіберфізичних систем (КФС), що інтегрують фізичні процеси з інформаційно-комунікаційними технологіями для безперервного контролю параметрів водного середовища (температура, рН, електропровідність, мутність, концентрація розчиненого кисню). Метою даної роботи є розробка апаратної складової КФС для здійснення вимірювання зазначених параметрів, що передбачає створення технічно надійної та енергоефективної платформи для стабільного збору, обробки та передачі екологічних даних. В рамках дослідження проаналізовано принципи побудови системи моніторингу, обґрунтовано вибір електронних компонентів, сенсорів, контролерів та засобів зв'язку, а також розроблено прототип пристрою, що функціонує в автономному режимі. Ключовими аспектами розробки є енергозбереження, точність вимірювань, модульність та адаптивність системи.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз структурних та функціональних особливостей кіберфізичної системи моніторингу стану води

Водні ресурси є абсолютно незамінним елементом для забезпечення сталого функціонування та прогресивного розвитку людської цивілізації, виступаючи ключовою умовою для задоволення життєво важливих потреб не лише населення, але й стратегічно важливих галузей економіки, таких як енергетика, промисловість та сільське господарство. Крім того, водні екосистеми відіграють критично важливу роль у підтримці глобальної екологічної рівноваги, забезпечуючи біорізноманіття, регулюючи кліматичні процеси та здійснюючи самоочищення від забруднюючих речовин. Проте, в умовах безперервного зростання антропогенного навантаження на природні екосистеми, інтенсивної господарської діяльності, неконтрольованої урбанізації, збільшення обсягів промислового виробництва та, як наслідок, зростання скидів різноманітних токсичних забруднюючих речовин із промислових підприємств, сільськогосподарських угідь, комунальних господарств, транспортних засобів та несанкціонованих джерел, якісний стан водних ресурсів опинився під серйозною та постійно зростаючою загрозою [2]. Додатково, глобальні кліматичні зміни, що проявляються у підвищенні середньої температури, зміні режимів опадів та збільшенні частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ, таких як тривалі посухи та руйнівні повені, спричиняють дестабілізацію гідрологічного режиму, що в свою чергу негативно впливає як на якість, так і на загальний об'єм доступних водних ресурсів, ускладнюючи прогнозування та управління водними запасами [19]. Усе це в комплексі зумовлює нагальну та безальтернативну необхідність у впровадженні ефективних, надійних та економічно обґрунтованих систем ретельного та безперервного моніторингу стану водного середовища на різних рівнях – від джерел питного водопостачання до великих річкових басейнів

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та озер – з метою забезпечення екологічної безпеки, своєчасного виявлення негативних тенденцій на ранніх стадіях їхнього розвитку та оперативного реагування на потенційні загрози для здоров'я населення та крихких водних екосистем.

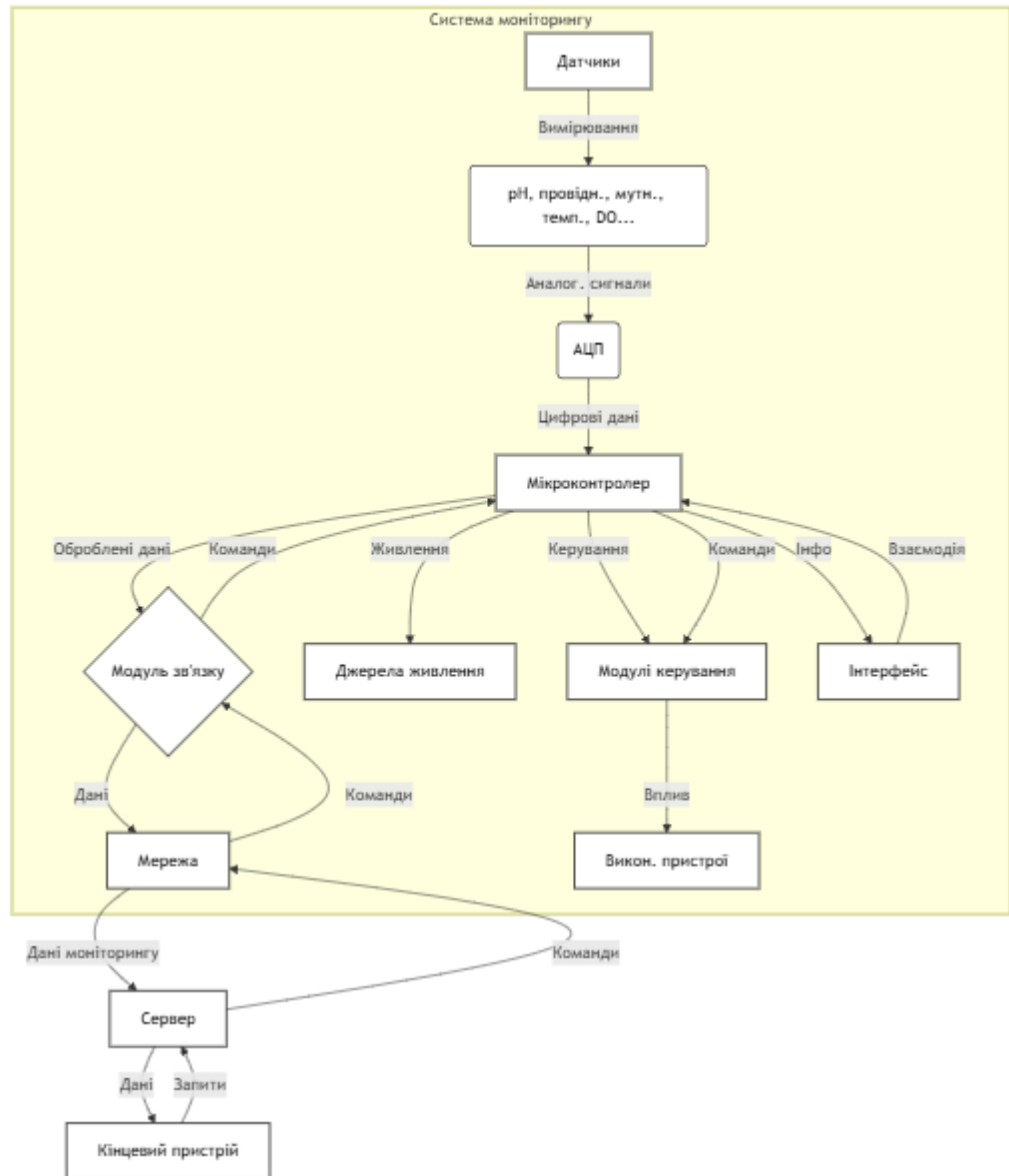


Рисунок 1.1 – Апаратна архітектура кіберфізичної системи моніторингу стану води

Таблиця 1.1 – Функціональні можливості кіберфізичної системи моніторингу стану води

1.	Збір даних	<ul style="list-style-type: none"> – вимірювання параметрів води (температура, рН, рівень мутності, електропровідність, вміст розчиненого кисню, тощо); – автоматичний періодичний збір даних з сенсорів; – можливість ручного запуску зчитування через віддалений інтерфейс.
2.	Обробка інформації	<ul style="list-style-type: none"> – первинна обробка показників на мікроконтролері; – фільтрація та усереднення даних для зменшення похибки; – збереження інформації у тимчасовому сховищі для передачі.
3.	Передача даних	<ul style="list-style-type: none"> – передача зібраної інформації через бездротові модулі (LoRa, GSM, Wi-Fi); – можливість передачі даних на хмарний сервер або локальний шлюз; – підтримка зашифрованої передачі для забезпечення безпеки.
4.	Енергозабезпечення	<ul style="list-style-type: none"> – автономне живлення за допомогою акумуляторів та сонячних панелей; – керування енергоспоживанням через режим сну; – контроль рівня заряду батареї.
5.	Інтеграція з іншими системами	<ul style="list-style-type: none"> – можливість підключення до платформи екологічного моніторингу; – відкриті API для сумісності з інженерними та аналітичними системами; – підключення до SCADA або GIS.
6.	Аварійне сповіщення	<ul style="list-style-type: none"> – автоматичне надсилання сповіщення у разі перевищення допустимих норм; – налаштування порогів для різних параметрів води; – підтримка SMS, email або push-сповіщень.
7.	Мобільність системи	<ul style="list-style-type: none"> – можливість розміщення системи на буях, платформах легка заміна або переналаштування

Кінець таблиці 1.1

8.	Захист та стійкість	<ul style="list-style-type: none"> – водонепроникний корпус для роботи в складних погодних умовах; – захист від пилу, корозії та перепадів температури; – вбудовані системи самодіагностики.
9.	Логування та архівація	<ul style="list-style-type: none"> – збереження історичних даних для довгострокового аналізу; – підтримка карт пам'яті або вбудованого flash-накопичувача; – маркування даних за датою, часом і геолокацією.
10.	Можливість масштабування	<ul style="list-style-type: none"> – розширення системи новими модулями без суттєвого доопрацювання; – підтримка декількох точок моніторингу в межах однієї системи; – централізоване керування мережею сенсорів.

1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення кіберфізичної системи моніторингу водного середовища

Активне впровадження кіберфізичних систем для здійснення безперервного моніторингу якісного стану водних ресурсів вимагає ретельного, науково обґрунтованого та економічно доцільного вибору апаратних компонентів, які є первинною та найважливішою ланкою для збору достовірних екологічних даних безпосередньо у досліджуваному водному середовищі [28]. На сучасному етапі стрімкого розвитку мікроелектроніки та сенсорних технологій для цієї мети доступний надзвичайно широкий спектр різноманітних типів високочутливих та прецизійних сенсорів, кожен з яких спеціалізовано розроблений та оптимізований для вимірювання певного ключового фізико-хімічного параметра води. До основних параметрів, що підлягають постійному контролю, належать температурний режим водного об'єкта, рівень кислотності (рН), показники електропровідності, концентрація розчиненого кисню, рівень каламутності,

окисно-відновний потенціал, а також, залежно від специфіки контролюваного водного об'єкта та потенційних джерел забруднення, наявність специфічних забруднюючих речовин, таких як іони важких металів (ртуть, свинець, кадмій), різноманітні пестициди, нафтопродукти (наприклад, вуглеводні), а також широкий спектр органічних і неорганічних сполук, що можуть негативно впливати на якість води та стан екосистеми [17]. Для ефективного управління роботою цих сенсорів, збору та первинної обробки отриманих аналогових сигналів використовуються спеціалізовані малогабаритні мікроконтролери з низьким енергоспоживанням, які виконують функцію центрального обчислювального елемента в складі кожного автономного сенсорного вузла. Саме вони відповідають за точне та своєчасне опитування підключених аналогових та цифрових датчиків, аналого-цифрове перетворення отриманих електричних сигналів у цифрові значення, виконання базової попередньої обробки даних (фільтрацію високочастотних шумів, усереднення серії вимірювань для підвищення точності, лінеаризацію вихідних характеристик сенсорів), підготовку структурованої інформації до подальшої передачі через обраний канал зв'язку та оптимізоване керування енергоспоживанням усього пристрою, що є особливо важливим для забезпечення тривалої автономної роботи сенсорних вузлів, які часто розміщуються у віддалених або важкодоступних місцях. При виборі конкретних типів сенсорів для вирішення певного завдання моніторингу необхідно ретельно враховувати вимоги до їхньої точності, стабільності вимірювань у часі, чутливості до малих змін у досліджуваному середовищі, діапазону вимірювань, а також їхньої стійкості до тривалого впливу агресивних компонентів водного середовища, можливих електромагнітних завад та біологічних обростань, залежно від конкретного параметра, типу водойми та складних умов експлуатації.

Особливої уваги при розробці апаратної частини кіберфізичних систем моніторингу якості води потребують надійні та енергоефективні засоби передачі

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних, які забезпечують безперебійну та своєчасну доставку зібраної екологічної інформації від віддалених сенсорних вузлів до центрального сервера або хмарної платформи для подальшого аналізу, візуалізації та прийняття обґрунтованих управлінських рішень [29]. Залежно від специфіки застосування, географічного розташування сенсорного вузла, наявності розвинутої телекомунікаційної інфраструктури та вимог до швидкості передачі даних можуть використовуватися різноманітні технології бездротового зв'язку: загальнодоступні стільникові мережі (GSM/GPRS, 3G, LTE, а в перспективі й 5G), бездротові локальні мережі (Wi-Fi), радіочастотні технології з низьким енергоспоживанням та великим радіусом дії (LoRa, Sigfox), а також інші спеціалізовані протоколи бездротового зв'язку. У віддалених районах з обмеженим або відсутнім доступом до розвинутої телекомунікаційної інфраструктури перевагу слід надавати малопотужним протоколам з великою дальністю передачі, які здатні забезпечити надійний зв'язок на значних відстанях при мінімальному енергоспоживанні, що є критично важливим для тривалої автономної роботи системи. Надійність каналу зв'язку є абсолютно критично важливою характеристикою, оскільки будь-які втрати пакетів даних або періодичні перебої в комунікації можуть призвести до спотворення загальної картини стану водного об'єкта, появи прогалин у даних та, як наслідок, знизити ефективність роботи всієї системи моніторингу та своєчасність реагування на критичні екологічні події. Ще одним ключовим елементом апаратної частини є надійна та ефективна система автономного живлення, яка повинна забезпечувати безперебійну роботу сенсорних вузлів протягом тривалого періоду часу без необхідності частого зовнішнього втручання для заміни або підзарядки джерел енергії [38]. Як основні джерела енергії можуть використовуватися акумуляторні батареї різної ємності, що підбираються залежно від енергоспоживання компонентів та необхідного терміну автономної роботи. Для значного продовження терміну автономної роботи та зменшення експлуатаційних витрат акумуляторні батареї можуть ефективно доповнюватися високоефективними малогабаритними сонячними панелями або іншими

перспективними технологіями збору енергії з навколишнього середовища, такими як мініатюрні вітрогенератори або термоелектричні генератори, що використовують різницю температур між водою та повітрям. Енергоефективність є одним із головних пріоритетів при розробці апаратної частини кіберфізичних систем моніторингу, тому всі електронні компоненти повинні мати низьке енергоспоживання та підтримувати різноманітні режими зниженого енергоспоживання, а програмне забезпечення мікроконтролерів повинно бути ретельно оптимізовано для ефективного керування енергоспоживанням та реалізації циклів активності та сну для мінімізації загального енергоспоживання системи [36].

Для забезпечення довготривалої та надійної роботи в складних та часто екстремальних умовах експлуатації всі електронні компоненти, включаючи сенсори, мікроконтролери, комунікаційні модулі та джерела живлення, повинні бути надійно захищені спеціальними міцними та герметичними корпусами, виготовленими з високоякісних матеріалів, стійких до тривалого впливу вологи, пилу, екстремальних температурних коливань, інтенсивного ультрафіолетового випромінювання, хімічно агресивних речовин (кислот, лугів, розчинених солей) та механічних пошкоджень (ударів, вібрації, абразивного зносу), гарантуючи таким чином довговічність та надійність роботи всієї системи в цілому протягом усього її життєвого циклу [23]. Окрім суто технічних характеристик окремих компонентів, важливими є також такі практичні аспекти, як простота та зручність встановлення та подальшого технічного обслуговування розгорнутого обладнання, можливість легкого проведення періодичної калібровки сенсорів для підтримання високої точності вимірювань протягом тривалого часу, тривалість життєвого циклу всіх компонентів системи та їхня загальна вартість, включаючи витрати встановлення та подальше обслуговування. Проводячи ретельний порівняльний аналіз різних апаратних рішень, доступних на сучасному ринку, можна дійти висновку, що найбільш перспективними для широкого впровадження є ті, які оптимально поєднують високу енергоефективність, надійність в

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

екстремальних умовах експлуатації, простоту в обслуговуванні та гнучкість у налаштуванні під конкретні завдання моніторингу якості води в різних типах водних об'єктів [34]. Такі рішення повинні забезпечувати можливість масштабування системи шляхом легкого додавання нових сенсорних вузлів без значних витрат та складнощів, адаптацію до різних типів водойм з різними фізико-хімічними характеристиками та можливість оперативного оновлення програмного забезпечення мікроконтролерів через віддалений бездротовий доступ для впровадження нових алгоритмів обробки даних, покращення функціональності системи або усунення виявлених помилок.

1.3 Особливості розгортання та експлуатації системи в реальних умовах

Впровадження кіберфізичної системи для моніторингу стану води є складним завданням, що потребує комплексного підходу, який охоплює не лише інженерні рішення, але й глибоке розуміння природних та експлуатаційних обмежень, що безпосередньо впливають на загальну ефективність та стабільність її функціонування. У реальних умовах навколишнього середовища, де температурний режим може коливатися в широких межах, рівень вологості повітря постійно змінюється, існує ймовірність біологічних забруднень сенсорів та виникнення фізичних перешкод для передачі даних, розроблена система повинна демонструвати високу стійкість та адаптивність до цих зовнішніх факторів. Надійність усіх електронних компонентів, що входять до складу системи, та їхній відповідний рівень захисту від агресивних впливів є ключовим аспектом, оскільки подібні системи часто розгортаються на тривалий період часу в автономному режимі, без можливості регулярного та безпосереднього технічного обслуговування [25].

Одним із визначальних факторів успішної та безперебійної експлуатації кіберфізичної системи моніторингу води є грамотна організація її енергозабезпечення. Використання сонячних панелей як екологічно чистого

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела відновлюваної енергії є перспективним рішенням, проте ефективність їхньої роботи безпосередньо залежить від мінливих кліматичних умов, таких як інтенсивність сонячного випромінювання та тривалість світлового дня [13]. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування додаткових акумуляторних джерел енергії для накопичення надлишкової енергії та забезпечення стабільного живлення системи в періоди недостатньої сонячної активності, або ж передбачення можливості підключення до резервної мережі електроживлення для гарантованої цілодобової роботи [44]. Процес передачі зібраних даних також може бути значно ускладнений в умовах нестабільного або слабого бездротового сигналу, особливо у випадку віддаленого розташування об'єкта моніторингу. Це вимагає використання спеціалізованих технологій передачі даних, таких як ретранслятори для посилення сигналу або використання модулів зв'язку, здатних ефективно працювати на значних відстанях, наприклад, технології LoRa або NB-IoT [29].

Окрім цього, надзвичайно важливим є врахування специфічних аспектів встановлення сенсорів, які безпосередньо контактують з водним середовищем. Для забезпечення високої репрезентативності зібраних даних, що відображають реальний стан водойми, сенсори повинні бути розміщені на оптимальній глибині, в місцях, що характеризуються типовими для об'єкта умовами. Водночас необхідно забезпечити їхній надійний захист від можливих механічних пошкоджень, спричинених течією, плаваючими об'єктами або діями вандалів, а також передбачити заходи для запобігання заростанню чутливих елементів сенсорів біологічними організмами, такими як водорості або бактеріальні плівки, що може суттєво вплинути на точність вимірювань. Усі перелічені фактори в сукупності формують унікальну специфіку технічного дизайну кіберфізичної системи моніторингу стану води та безпосередньо впливають на остаточний вибір компонентів, матеріалів та конструктивних рішень [8].

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Інтеграція даних у цифрові екосистеми та перспективи застосування

Для забезпечення абсолютної стабільності, безперебійності, виняткової надійності та надзвичайно довготривалої експлуатації всіх критично важливих апаратних модулів розробленої високоінтелектуальної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища, особливо в умовах потенційно екстремального та агресивного зовнішнього середовища, що характеризується непередбачуваними та значними коливаннями температури, підвищеною вологістю, інтенсивним ультрафіолетовим випромінюванням, частими механічними впливами, такими як вібрації та удари, а також наявністю значної кількості пилу, бруду та абразивних частинок, було прийнято стратегічне, інженерно обґрунтоване та технологічно вивірене рішення про їхнє комплексне розміщення у спеціально розробленому, надзвичайно міцному, герметичному та ударостійкому пластиковому корпусі промислового класу [28].

Рівень захисту цього корпусу повністю відповідає вимогам міжнародного стандарту IP65 або навіть перевищує їх, що підтверджується rigorous тестуванням та сертифікацією, забезпечуючи тим самим найвищий ступінь безпеки та надійності функціонування всіх внутрішніх електронних компонентів у найскладніших умовах. Цей високий ступінь захисту гарантує повну та всеосяжну ізоляцію всіх внутрішніх чутливих електронних компонентів від проникнення твердих частинок будь-якого розміру, від мікроскопічного пилу, який може спричинити короткі замикання та пошкодження делікатних схем, до більших елементів, таких як будівельний бруд, пісок, абразивні матеріали, що могли б спричинити механічні пошкодження та збої в роботі. Крім того, забезпечується абсолютний захист від згубного впливу вологи у будь-якій її формі, включаючи випадкові бризки води з будь-якого напрямку, інтенсивні атмосферні опади, такі як сильний дощ, мокрий сніг, снігопад, що можуть тривати годинами, а також захист від прямих струменів води під тиском та навіть короточасного повного занурення у воду на невелику глибину.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високоякісний полімерний матеріал, з якого виготовлено корпус, є ключовим фактором його виняткової довговічності та стійкості до деградації. Він характеризується підвищеною стійкістю до тривалого впливу інтенсивного ультрафіолетового випромінювання, що особливо актуально для систем, що експлуатуються під прямими сонячними променями протягом усього року. Це ефективно запобігає його фотодеградації – процесу руйнування матеріалу під впливом УФ-радіації, що проявляється у втраті первісних фізико-механічних властивостей, таких як міцність, еластичність, стабільність кольору та збереження форми. Що особливо важливо для забезпечення довготривалої та безвідмовної працездатності системи, матеріал зберігає свою абсолютну герметичність протягом усього розрахункового терміну експлуатації, який може сягати кількох років або навіть десятиліть, функціонуючи під прямими сонячними променями в різних кліматичних зонах з різною інтенсивністю сонячної радіації, від екваторіальних до полярних регіонів.

Всі зовнішні сенсори, які за своєю функціональною необхідністю безпосередньо контактують з водним середовищем, наприклад, датчики рН, температури, електропровідності та розчиненого кисню, або навколишнім атмосферним повітрям, виводяться назовні через спеціально розроблені, багаторазово протестовані та сертифіковані герметичні кабельні вводи та порти. Ці елементи мають високий ступінь захисту від проникнення вологи та пилу, часто відповідаючи стандартам IP67 або IP68, що забезпечує надзвичайно надійне ущільнення місць з'єднання та повністю виключає будь-яку можливість проникнення вологи всередину герметичного об'єму корпусу. Це, у свою чергу, гарантує довготривалу, стабільну та безвідмовну роботу всієї складної електронної системи, запобігаючи корозії та електричним замиканням. Як альтернативний варіант для підключення деяких специфічних сенсорів, що потребують більшої гнучкості при монтажі та експлуатації, наприклад, датчиків, які часто переміщуються або замінюються для калібрування чи обслуговування, можуть використовуватися гнучкі водозахищені кабелі з високоякісними

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

герметичними роз'ємами промислового стандарту. Це забезпечує додаткову зручність та оперативність при монтажі, підключенні, від'єднанні та подальшому технічному обслуговуванні окремих елементів системи, мінімізуючи час простою та спрощуючи експлуатацію.

Продумана та універсальна конструкція кріплення герметичного корпусу передбачає різноманітні варіанти установки та надає широкий спектр можливостей для розміщення системи в різних умовах експлуатації та гідрологічних об'єктах. Це включає можливість надійної установки на спеціалізованій плавучій платформі для здійснення безпосереднього моніторингу параметрів води на поверхні водойми, таких як озера, річки, ставки або морські акваторії, що дозволяє отримувати дані з різних точок. Також передбачена можливість встановлення на стаціонарній опорній конструкції, встановленій безпосередньо біля берегової лінії, на дні водойми за допомогою спеціальних підводних кріплень для моніторингу донних шарів, або на гідротехнічній споруді, такій як дамба, міст або причал, для контролю потоків води. Така адаптивність дозволяє оптимально інтегрувати систему в різні типи водних об'єктів, враховуючи їхні гідрологічні особливості (наприклад, глибину, швидкість течії, рівень води), специфічні умови моніторингу (тривалість, інтенсивність збору даних) та індивідуальні вимоги кінцевого користувача або цілей дослідження.

Внутрішня ергономічна організація герметичного корпусу ретельно продумана, оптимізована та раціонально спланована для забезпечення найбільш сприятливих умов роботи всіх розміщених всередині чутливих електронних компонентів [43]. Це включає не лише мінімізацію ризику їхнього механічного пошкодження від вібрацій або ударів під час транспортування та експлуатації, але й полегшення доступу для проведення планового технічного обслуговування, оперативного діагностики несправностей та швидкої заміни елементів. Для зручного та надійного механічного розміщення ключових функціональних модулів системи, таких як високопродуктивний центральний мікроконтролер з низьким енергоспоживанням, інтелектуальний контролер заряду та розряду

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

акумуляторної батареї з вбудованими функціями захисту від перевантаження та глибокого розряду, компактний та енергоефективний модуль бездротового зв'язку з підтримкою сучасних протоколів передачі даних, таких як Wi-Fi та Bluetooth Low Energy, а опціонально й LoRaWAN для більшої дальності та енергоефективності, а також стабілізований блок живлення промислового класу з широким діапазоном вхідних напруг та надійним захистом від стрибків, передбачено використання стандартизованого монтажного шасі з антистатичним покриттям. Як альтернатива, може застосовуватися спеціалізована багат шарова друкована плата з надійними механічними кріпильними елементами, такими як стійки та гвинти, які забезпечують жорстку фіксацію. Це шасі забезпечує не лише надійне механічне кріплення всіх електронних компонентів, запобігаючи їхнім випадковим зміщенням, вібрації та механічним пошкодженням під час транспортування або тривалої експлуатації в умовах підвищеної вібрації, але й значно полегшує процес їхнього подальшого технічного обслуговування, діагностики несправностей та можливої заміни у випадку виникнення такої необхідності, мінімізуючи час простою системи та експлуатаційні витрати. З метою ефективного запобігання перегріву чутливих електронних компонентів під час їхньої інтенсивної роботи, особливо в умовах високих зовнішніх температур, та утворенню небезпечного конденсату всередині герметичного корпусу внаслідок значних перепадів зовнішньої та внутрішньої температури, що може призвести до корозії металевих елементів, коротких замикань та виходу обладнання з ладу, конструкцією корпусу передбачені спеціально розраховані вентиляційні отвори з пило-вологозахищеними фільтрами та дихаючими мембранами. Ці елементи забезпечують постійну та контрольовану циркуляцію повітря всередині корпусу, дозволяючи відводити надлишкове тепло, а також ефективні дренажні канали з односторонніми клапанами для своєчасного відведення випадково потрапленої або сконденсованої вологи, підтримуючи таким чином оптимальний мікроклімат для надійної та довготривалої роботи всієї складної електронної начинки системи [22]. Загальна конструкція герметичного

корпусу та високоякісні полімерні матеріали, що були використані для його виготовлення, ретельно розраховані на експлуатацію в надзвичайно широкому діапазоні температур навколишнього середовища – від екстремально низьких зимових температур, що можуть сягати мінус 20 градусів Цельсія, до високих літніх температур, які можуть перевищувати плюс 60 градусів Цельсія. Така розширена температурна стійкість робить розроблену інтелектуальну систему придатною для безперервного цілорічного використання в різноманітних кліматичних зонах з різними температурними режимами, від помірнього до тропічного або арктичного, без будь-якої втрати її функціональності, високої надійності та точності здійснюваних вимірювань, забезпечуючи стабільний та якісний моніторинг стану водних об'єктів незалежно від пори року та екстремальних погодних умов.

1.5 Висновки до першого розділу

У межах розділу 1 проведено детальний аналіз структурних та функціональних особливостей кіберфізичних систем, призначених для моніторингу стану водного середовища, було підтверджено, що такі системи є високоефективним інструментом для забезпечення безперервного контролю за ключовими екологічними показниками в режимі реального часу. Серед основних переваг КФС виокремлено їхню автономність у роботі, гнучкість у масштабуванні залежно від потреб, широкі можливості інтеграції з різноманітними хмарними сервісами та здатність до швидкого й точного реагування на будь-які зміни параметрів навколишнього середовища.

Проведено комплексний аналіз наявного апаратно-програмного забезпечення, яке потенційно може бути використане для створення ефективних кіберфізичних систем моніторингу якості води. У ході цього аналізу було чітко визначено, що апаратна частина такої системи повинна забезпечувати не лише стабільний збір первинних даних, але й їхню надійну передачу на подальшу

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробку та аналіз. Важливими вимогами до апаратного забезпечення є також здатність працювати в автономному режимі протягом тривалого часу без зовнішнього втручання, високий рівень захисту від негативного впливу факторів зовнішнього середовища, а також підтримка технологій енергозбереження для оптимізації споживання ресурсів [2].

У процесі дослідження було встановлено, що найбільш доцільним підходом до побудови апаратної частини КФС моніторингу води є використання багатокомпонентної структури. Ця структура повинна включати в себе спеціалізовані сенсорні модулі, відповідальні за збір різноманітних екологічних даних, потужний мікроконтролер, який забезпечує обробку отриманої інформації, надійні модулі зв'язку для ефективною передачі даних до центрального сервера або хмарної платформи, а також незалежне та ефективне джерело живлення, що гарантує безперебійну роботу системи. Застосування такого інтегрованого підходу дозволяє створити високоефективну, надійну в експлуатації та гнучку в адаптації систему для моніторингу якості води як у природних, так і в техногенних водних об'єктах.

Отримані в результаті проведеного аналізу результати формують міцне підґрунтя для наступного важливого етапу роботи – детального проектування апаратної частини розробленої системи.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ

2.1 Загальні принципи побудови апаратної частини системи

У результаті уважного вивчення того, як працюють кіберфізичні системи для спостереження за водою, стало зрозуміло, що це дуже хороший спосіб постійно перевіряти якість води в реальному часі. Головні плюси таких систем – вони можуть працювати самі по собі, їх легко збільшувати, якщо потрібно контролювати більше місць, вони добре працюють з хмарними сервісами для зберігання даних, а також швидко реагують на будь-які зміни у воді, що допомагає вчасно помітити проблеми.

Також розглянуто різне обладнання та програми, які можна використовувати для створення таких систем. З'ясувалося, що апаратна частина системи повинна стабільно збирати дані та надійно їх передавати, довго працювати без підзарядки, бути захищеною від дощу, сонця та інших зовнішніх впливів, а також економно використовувати енергію [14].

Виявилось, що найкраще використовувати апаратну частину, яка складається з багатьох елементів. Це датчики для вимірювання різних показників води, головний комп'ютер (мікроконтролер) для обробки цих даних, пристрої зв'язку для передачі інформації та незалежне джерело живлення. Такий підхід дозволяє створити ефективну, надійну та гнучку систему для контролю якості води в річках, озерах чи навіть на підприємствах [33].

Отримані знання допоможуть на наступному етапі – розробити конкретну апаратну частину системи. При цьому обов'язково враховано, де саме ця система буде працювати та які вимоги пред'являються до кожного її елемента, щоб вона працювала якнайкраще та якомога довше.

На основі проведеного аналізу стало зрозуміло, що кіберфізичні системи моніторингу води є важливим інструментом для постійного контролю за станом водних ресурсів. Вони допомагають автоматично збирати, обробляти та

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передавати інформацію про якість води, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни та забезпечувати екологічну безпеку. Ці системи можуть включати різноманітні датчики для вимірювання хімічних, фізичних та біологічних параметрів води, а також комунікаційні модулі для зв'язку з центральним сервером або хмарною платформою. Важливою особливістю є їхня здатність працювати в режимі реального часу, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан водного середовища в будь-який момент часу [39].

При розробці апаратної частини таких систем необхідно враховувати умови їхньої експлуатації, включаючи температурний режим, вологість, можливість механічних пошкоджень та електромагнітні перешкоди. Тому важливим є вибір надійних та захищених компонентів, які здатні стабільно працювати в складних умовах. Також необхідно передбачити ефективну систему живлення, яка забезпечить тривалу автономну роботу системи, наприклад, за допомогою акумуляторів або сонячних панелей.

Програмна частина кіберфізичної системи моніторингу води відповідає за обробку отриманих даних, їхній аналіз та візуалізацію. Вона може включати алгоритми для виявлення аномальних значень, прогнозування змін якості води та формування звітів для користувачів. Інтеграція з хмарними сервісами дозволяє зберігати великі обсяги даних, отримувати доступ до них з будь-якого пристрою та використовувати передові інструменти для аналізу та обробки інформації [23].

Таким чином, кіберфізичні системи моніторингу стану води є складним, але дуже ефективним комплексом, що поєднує в собі передові досягнення в галузі електроніки, інформаційних технологій та екології. Їхнє впровадження дозволяє значно підвищити ефективність контролю за водними ресурсами, своєчасно виявляти та запобігати забрудненню, а також приймати обґрунтовані рішення для забезпечення їхньої сталої експлуатації.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Центральний обчислювальний модуль

Мікроконтролер ESP32, який є продуктом компанії Espressif Systems, став не просто ключовим функціональним елементом, а справжнім технологічним осердям для розробки широкого спектру різноманітних інтелектуальних систем, що охоплюють найрізноманітніші галузі застосування, значною мірою завдяки унікальному та вдалому поєднанню видатної обчислювальної потужності, значного обсягу вбудованої оперативної (SRAM) та флеш-пам'яті, а також інтегрованої підтримки надзвичайно широкого спектру передових бездротових протоколів зв'язку, що повністю відповідають найсучаснішим вимогам до ефективного, високошвидкісного та надійного обміну даними між різними пристроями та системами в екосистемі Інтернету речей та промислової автоматизації. В його основі лежить високоінтегрована, гнучка та енергоефективна системна архітектура, що включає два потужні та незалежні обчислювальні ядра Tensilica LX6, кожне з яких здатне паралельно обробляти складні та різноманітні обчислювальні завдання. Це є абсолютно критично важливим для забезпечення ефективної та оперативної роботи систем, які функціонують у режимі реального часу, де швидкість обробки інформації, низька затримка та здатність до одночасної обробки численних потоків даних від різних сенсорів та периферійних пристроїв є визначальними факторами загальної продуктивності, надійності та стабільності роботи всієї системи. Завдяки цій двоядерній архітектурі, одне ядро може бути задіяне для виконання основних обчислювальних завдань та логіки програми, тоді як інше може обробляти комунікаційні протоколи або виконувати фонові завдання, тим самим значно підвищуючи загальну ефективність та відгук системи.

ESP32 забезпечує безперебійне, стабільне та високошвидкісне підключення до бездротових мереж стандарту Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n), що повністю відповідає зростаючим потребам у передачі значних обсягів різноманітної інформації, включаючи великі масиви сенсорних даних, мультимедійний контент,

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що може використовуватися для візуалізації, та оновлення програмного забезпечення "по повітрю" (Over-The-Air, OTA), що значно спрощує обслуговування розгорнутих систем. Крім того, він підтримує енергоефективний протокол бездротового зв'язку Bluetooth Low Energy (BLE), який ідеально підходить для встановлення надійного, енергоефективного зв'язку з різноманітними малопотужними периферійними пристроями, такими як компактні бездротові датчики, носимі пристрої, виконавчі механізми та інші елементи розумних екосистем [50]. BLE мінімізує загальне енергоспоживання всієї системи та значно подовжує термін її автономної роботи від обмежених джерел живлення, таких як невеликі акумуляторні батареї або навіть елементи живлення з низькою ємністю [36]. Ця подвійна підтримка найбільш поширених та найбільш актуальних бездротових технологій (Wi-Fi для високошвидкісної передачі даних та BLE для енергоефективної близькодії) робить можливим гнучке, надійне та ефективне передавання даних у найрізноманітніших сценаріях використання, навіть у тих випадках, коли традиційне дротове підключення є фізично неможливим, економічно недоцільним через високу вартість розгортання кабельної інфраструктури або просто недоступним через географічні особливості, складність місцевості або відсутність інфраструктури, тим самим значно розширюючи спектр потенційних застосувань даної універсальної технології в різних галузях науки, промисловості (промисловий IoT), сільського господарства (точне землеробство), медицини (носійні медичні пристрої), транспорту (системи моніторингу транспортних засобів) та побутової електроніки (системи "розумного дому").

Винятково високий рівень інтеграції різноманітних функціональних компонентів безпосередньо на одному кристалі мікроконтролера ESP32 став ключовим інженерним рішенням, що дозволило розробникам суттєво зменшити кількість необхідних зовнішніх компонентів [21]. Це означає відмову від використання значної кількості додаткових зовнішніх периферійних процесорів, спеціалізованих контролерів для зв'язку або пам'яті, зовнішніх кристалів пам'яті

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(RAM та Flash) та допоміжних мікросхем, що традиційно використовуються в менш інтегрованих рішеннях. Такий інноваційний підхід не лише істотно позитивно впливає на загальний рівень енергоспоживання розробленої системи, роблячи її більш енергоефективною, економічною в експлуатації та, як наслідок, більш екологічною за рахунок зменшення споживання енергії та кількості електронних відходів, але й значно спрощує її апаратну схемотехніку, зменшує загальну кількість необхідних електронних компонентів, що знижує вартість виробництва, суттєво полегшує процес налагодження та тестування на етапі активної розробки складних електронних пристроїв та значно спрощує подальше технічне обслуговування вже впровадженої та розгорнутої системи протягом усього її життєвого циклу. Контролер ESP32 оснащений вбудованими високопродуктивними та багатоканальними аналого-цифровими перетворювачами (АЦП) з високою роздільною здатністю (до 12 біт), що забезпечує можливість безпосереднього та високоточного підключення широкого спектру різноманітних аналогових датчиків для збору детальних даних про фізичні параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, освітленість, рівень звуку, а також концентрація різноманітних хімічних речовин та газів [14]. Крім того, ESP32 підтримує надзвичайно широкий набір послідовних та паралельних інтерфейсів зв'язку, що робить його універсальним для взаємодії з різними периферійними пристроями. Сюди входять: універсальний асинхронний приймач-передавач (UART) з підтримкою різних швидкостей передачі даних для надійної низькошвидкісної послідовної комунікації з іншими мікроконтролерами або GSM-модулями; міжінтегральна шина (I2C) з підтримкою різних режимів роботи (Master/Slave) для ефективної взаємодії з повільними периферійними компонентами, такими як датчики, дисплеї та EEPROM-пам'ять; високошвидкісний послідовний периферійний інтерфейс (SPI) з підтримкою різних режимів передачі даних для швидкого обміну даними з датчиками, зовнішніми пристроями пам'яті (SD-карти, Flash) та іншими мікроконтролерами, що потребують високої пропускну здатності; широтно-

імпульсна модуляція (PWM) з високою роздільною здатністю та кількома незалежними каналами для точного керування різноманітними виконавчими механізмами, такими як сервоприводи, двигуни, регулятори яскравості світлодіодів та аудіовихід; а також численні інші спеціалізовані протоколи та інтерфейси зв'язку, включаючи інтерфейс SDIO для прямого підключення SD-карт для зберігання великих обсягів даних та інтерфейс Ethernet для дротового підключення до локальних мереж, що підвищує надійність з'єднання. Така вражаюча різноманітність комунікаційних можливостей надає інженерам та розробникам виняткову гнучкість при одночасному підключенні великої кількості різноманітних сенсорів для збору комплексних даних про навколишнє середовище та потужних виконавчих пристроїв для ефективного керування складними технологічними процесами, що робить ESP32 надзвичайно універсальним та багатофункціональним рішенням, оптимально придатним для вирішення широкого спектра завдань у найрізноманітніших галузях сучасної промисловості, наукових досліджень, сільського господарства, медицини, транспорту, розумних міст та побутової електроніки [44].

Крім того, ще однією надзвичайно важливою та беззаперечною перевагою мікроконтролера ESP32 є його продумана, гнучка та високоефективна підтримка широкого спектру різноманітних режимів енергозбереження, що є абсолютно критично важливим для забезпечення тривалої автономної роботи різноманітних бездротових та портативних систем, які живляться від обмежених джерел енергії, таких як компактні акумуляторні батареї [1]. У періоди тимчасової відсутності активної необхідності у безперервному зборі первинних даних, інтенсивній обробці значних обсягів інформації або активному передаванні накопичених даних через бездротові мережі, мікроконтролер ESP32 має інтелектуальну здатність автоматично або за зовнішньою програмною командою переходити в спеціалізований режим глибокого сну (deep sleep). У цьому стані надзвичайно низького енергоспоживання ESP32 демонструє вражаюче зменшення споживаної електричної потужності на кілька порядків – у десятки, а в деяких спеціалізованих

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадках, де оптимізація енергоспоживання доведена до максимуму, навіть у сотні разів, порівняно зі звичайним режимом активної та інтенсивної роботи [37]. Це дозволяє значно подовжити час автономної роботи пристрою, який може вимірюватися місяцями або навіть роками. Такий продуманий та інтелектуальний підхід до керування енергоспоживанням на рівні архітектури самого мікроконтролера дозволяє складним електронним системам, повністю побудованим на базі ESP32, залишатися активними, працездатними та готовими до негайного виконання своїх основних функцій протягом надзвичайно тривалих періодів часу – від кількох тижнів до багатьох місяців без необхідності частого зовнішнього підзарядження або періодичної заміни первинних елементів живлення, що є особливо цінною та затребуваною характеристикою для успішного розгортання автономних та віддалених систем екологічного моніторингу, різноманітних систем керування в умовах обмеженого доступу до стабільних джерел енергії та широкого спектру пристроїв Інтернету речей (IoT) з високими вимогами до тривалого терміну служби від одного заряду батареї, забезпечуючи таким чином їхню практичну цінність, економічну ефективність та значну гнучкість у розгортанні.

2.3 Сенсори для вимірювання параметрів води

Фундаментальну, визначальну та абсолютно незамінну роль у безперебійному та високоефективному функціонуванні розробленої інтелектуальної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища відіграє інтегрований комплекс високоточних, надійних та енергоефективних сенсорів, які здійснюють безпосередню, пряму та постійну взаємодію з досліджуваним водним середовищем, забезпечуючи збір первинних, критично важливих та репрезентативних даних про його поточний фізико-хімічний стан, гідрологічні особливості та ключові якісні характеристики. Ретельний та науково обґрунтований відбір кожного окремого датчика здійснювався на основі всебічного, багатоаспектного та глибокого аналізу основних фізичних, хімічних

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та біологічних критеріїв, що комплексно визначають якість води та мають значущий вплив як на природні екологічні процеси, що відбуваються у водному об'єкті, так і на можливі антропогенні або техногенні зміни, що можуть негативно впливати на його екологічний стан та придатність для різних видів використання. До цього ретельно підбраного, оптимізованого та інтегрованого комплексу входять високоякісні датчики, призначені для точного та безперервного вимірювання таких життєво важливих параметрів водного середовища, як температура води, яка є ключовим фактором, що впливає на швидкість біохімічних реакцій та розчинність газів, кислотно-лужний баланс (рН), що визначає хімічну активність води та придатність її для існування різних водних організмів, електропровідність (ЕС), яка відображає загальну концентрацію розчинених у воді іонів солей та мінералів і є важливим індикатором її мінералізації, концентрація розчиненого у воді кисню (DO), який є абсолютно необхідним для аеробного дихання більшості водних мешканців, показник прозорості або каламутності (мутність), що вказує на вміст у воді завислих твердих частинок та впливає на проникнення світла, необхідного для фотосинтезу водних рослин, а також рівень води у досліджуваному водному резервуарі або природній водоймі, що є важливим гідрологічним параметром для оцінки водного балансу та прогнозування можливих змін [17].

Для забезпечення максимально точних та надійних вимірювань кожен датчик, що входить до складу розробленої системи, проходить процедуру ретельного калібрування та попереднього тестування в лабораторних умовах з використанням сертифікованих стандартних розчинів та еталонного обладнання. Це дозволяє мінімізувати похибку вимірювань та забезпечити високу ступінь достовірності отриманих даних, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Крім того, при виборі конкретних моделей сенсорів враховувалися такі важливі експлуатаційні характеристики, як їхня довговічність, стійкість до корозії та біологічного обростання, низьке енергоспоживання для забезпечення тривалої автономної роботи системи, а також

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їхня повна сумісність з обраним центральним мікроконтролером та іншими апаратними компонентами системи. Інтеграція сенсорів з мікроконтролером здійснюється за допомогою стандартизованих аналогових та цифрових інтерфейсів, що забезпечує простоту підключення та обміну даними. Для передачі аналогових сигналів використовуються екрановані кабелі для мінімізації впливу електромагнітних завад, а для цифрових сенсорів застосовуються надійні протоколи послідовної передачі даних, такі як I2C або SPI, що забезпечує стабільний та ефективний обмін інформацією [40].

Кожен з обраних датчиків має свої унікальні технічні характеристики та принцип дії, оптимально пристосовані для вимірювання конкретного параметра водного середовища. Наприклад, для вимірювання температури використовується високоточний цифровий термометр, який забезпечує високу точність та стабільність показань у широкому діапазоні температур. Датчик рН базується на електрохімічному принципі та має вбудовану температурну компенсацію для забезпечення коректних вимірювань при різних температурах води [23]. Для вимірювання електропровідності застосовується кондуктометричний датчик з чотирма електродами, який мінімізує вплив поляризації електродів та забезпечує точні вимірювання навіть у воді з високою провідністю. Концентрація розчиненого кисню визначається за допомогою оптичного датчика або електрохімічного датчика з мембраною, які забезпечують надійні та стабільні вимірювання без значного споживання кисню з досліджуваного середовища. Мутність води вимірюється за нефелометричним принципом, шляхом вимірювання розсіяного світла при проходженні через водну суспензію, що дозволяє точно визначати вміст завислих частинок. Рівень води визначається за допомогою ультразвукового датчика або датчика тиску, які забезпечують безконтактне або контактне вимірювання висоти стовпа води з високою точністю та надійністю [32].

Отримані з високоточних датчиків первинні аналогові та цифрові дані в режимі реального часу передаються на потужний центральний мікроконтролер

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для подальшої комплексної обробки, яка включає в себе цифрову фільтрацію для усунення шумів та випадкових викидів, застосування попередньо визначених калібрувальних коефіцієнтів для підвищення точності вимірювань, а також їхнє тимчасове збереження у локальній пам'яті перед подальшою передачею. Завдяки високій та програмовано регульованій частоті опитування кожного з датчиків, розроблена система забезпечує детальний та безперервний моніторинг динаміки змін ключових параметрів водного середовища, що дозволяє своєчасно виявляти навіть незначні, але потенційно важливі відхилення від встановлених нормативних значень та оперативно реагувати на можливі екологічні загрози або техногенні впливи [8]. Інтегроване програмне забезпечення системи, розроблене з урахуванням вимог енергоефективності та оптимального використання обчислювальних ресурсів, забезпечує гнучке налаштування частоти опитування кожного окремого датчика залежно від специфічних вимог моніторингу для конкретного параметра та швидкості його зміни в часі, що дозволяє ефективно балансувати між детальністю зібраних даних та загальним енергоспоживанням системи, продовжуючи термін її автономної роботи [5]. Крім того, програмне забезпечення передбачає можливість встановлення порогових значень для кожного параметра, при перевищенні або зниженні яких система автоматично генерує сповіщення для оператора. Додатково реалізовано функцію усереднення отриманих даних протягом певного періоду, що дозволяє отримати більш стабільні значення та згладити миттєві коливання, які можуть бути спричинені механічними впливами, турбулентністю води або зовнішніми перешкодами. Такий підхід особливо корисний при моніторингу параметрів, які змінюються повільно або мають незначні добові коливання. Окрім локального збереження, реалізована опція серійної передачі оброблених даних до зовнішнього пристрою, наприклад, комп'ютера або хмарного сервісу для подальшого аналізу. Це відкриває широкі можливості для довготривалого зберігання, побудови трендів, аналітики та порівняння даних з іншими джерелами. Усі ці заходи комплексно підвищують надійність, точність та ефективність роботи системи моніторингу,

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роблячи її придатною для використання не лише в навчальних чи аматорських цілях, але й у реальних умовах польових екологічних досліджень або промислового застосування.

Таблиця 2.1 – Сенсори, що використовуються у системі

№	Назва сенсора	Призначення	Інтерфейс	Особливості
1	DS18B20	Вимірювання температури води	1-Wire	Водонепроникний корпус
2	pH-метр (аналоговий)	Визначення кислотності/лужності	Аналоговий	Необхідне калібрування
3	ЕС сенсор ЕС сенсор	Вимірювання електелектропровідності Вимірювання електропровідності	Аналоговий	Визначає концентрацію солей
4	DO сенсор (розчинений кисень)	Визначення концентрації кисню	Аналоговий	Використовується з пробіркою
5	Turbidity sensor (мутність)	Вимірювання прозорості води	Аналоговий	Оптичний принцип дії
6	УЗ датчик рівня води	Визначення рівня заповнення резервуару	UART/I2C	Дальність до 4–6 м

Для забезпечення максимально точного, стабільного та надійного вимірювання критично важливого параметра температури водного середовища було обрано високоякісний цифровий водонепроникний сенсор DS18B20. Цей датчик вирізняється не лише високою точністю визначення температурних показників у широкому діапазоні, але й стійкістю до впливу вологи та пилу, що робить його ідеальним рішенням для довготривалого безперервного моніторингу навіть в умовах забрудненої або динамічної течії води, а також при значних коливаннях температури навколишнього середовища. Його цифрова природа

передачі даних мінімізує вплив шумів та забезпечує стабільність сигналу на значних відстанях, що є важливим при розміщенні сенсора на віддалених точках моніторингу. Високоточний рН-метр інтегровано в систему для здійснення безперервної та автоматизованої оцінки кислотності або лужності водного середовища [30]. Цей показник є абсолютно критично важливим для своєчасного виявлення як техногенних забруднень, що можуть швидко та суттєво змінити хімічний склад води, роблячи її непридатною для використання та небезпечною для водних екосистем, так і біологічних відхилень, пов'язаних з активністю водних організмів, інтенсивними процесами розкладання органічних речовин або аномальним розвитком водоростей. ЕС-сенсор високої чутливості використовується для точного вимірювання електропровідності води, яка має пряму та добре вивчену кореляцію із загальною концентрацією розчинених іонів, включаючи життєво важливі мінеральні солі та потенційно небезпечні забруднюючі речовини [12]. Різкі та нехарактерні зміни цього показника можуть слугувати раннім та надійним сигналом про забруднення водного об'єкта промисловими стоками, що містять солі важких металів або інші небезпечні хімічні сполуки, що становить серйозну загрозу для здоров'я водних екосистем та безпеки людини при використанні такої води. Високоякісний DO-сенсор забезпечує точну та стабільну оцінку рівня розчиненого кисню у воді, що є одним з найважливіших абіотичних факторів, які безпосередньо впливають на інтенсивність метаболізму та виживання аеробних водних організмів, включаючи риб, безхребетних та аеробні бактерії. Значне зниження рівня розчиненого кисню може свідчити про інтенсивне органічне забруднення, евтрофікацію водойми або порушення природних процесів аерації, що може призвести до замору водних організмів та серйозних екологічних наслідків. Сучасний оптичний сенсор мутності (turbidity sensor) використовує високоточний принцип розсіювання інфрачервоного світла для виявлення візуального забруднення води завислими частинками різного походження, включаючи глину, мул, планктон або мікроскопічні промислові домішки, що безпосередньо впливають на її прозорість

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та проникність сонячного світла, необхідного для ефективного фотосинтезу водних рослин та підтримки первинної продуктивності екосистеми. Нарешті, надійний ультразвуковий датчик рівня води дозволяє здійснювати безконтактну та високоточну фіксацію змін об'єму води у досліджуваній природній водоймі або штучному резервуарі. Ця інформація є особливо цінною під час безперервного моніторингу гідрологічного режиму водного об'єкта, оперативного прогнозування паводкових ситуацій або детальних спостережень за процесами наповнення та спрацювання водосховищ, ставків та інших штучних водних об'єктів, що є важливим для ефективного управління водними ресурсами.

2.4 Модулі живлення та зв'язку

Зібрані в результаті безперервного, багатоаспектного та всеосяжного процесу моніторингу критично важливих гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних та гідродинамічних параметрів різноманітних поверхневих та підземних водних об'єктів первинні сирі дані набувають своєї справжньої, практичної, стратегічної та навіть геополітичної цінності лише тоді, коли вони безперешкодно, надійно, безпечно та ефективно інтегруються в розгалужену, багаторівневу та комплексну цифрову інфраструктуру, яка слугує міцною, інтелектуальною та гнучкою основою для прийняття обґрунтованих, своєчасних, економічно доцільних та науково підтверджених управлінських рішень на всіх рівнях керування – починаючи від локального, муніципального та регіонального і закінчуючи загальнодержавним, міждержавним та навіть глобальним. Саме тому невід'ємною, ключовою, фундаментальною, критично важливою та стратегічно значущою складовою будь-якої сучасної інтелектуальної кіберфізичної системи моніторингу стану води є високорозвинена, багатofункціональна, гнучка, масштабована та надзвичайно надійна програмна частина, що включає в себе широкий спектр спеціалізованих програмних модулів та інтерфейсів. Ця складна, але ефективна програмна екосистема забезпечує не лише надійне, безпечне, довготривале, структуроване, стандартизоване та геопросторово прив'язане

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зберігання величезних обсягів різноманітних отриманих первинних сирих даних, але й їхню наочну, інтуїтивно зрозумілу, контекстно-залежну, динамічну та інтерактивну візуалізацію у зручному для сприйняття широким колом кінцевих користувачів форматі інформативних графіків, чітких діаграм, детальних картографічних шарів, тривимірних моделей та інтегрованих інформаційних панелей (дашбордів), глибокий статистичний аналіз з використанням сучасних математичних методів, потужних інструментів інтелектуальної обробки великих даних (Big Data Analytics) та передових алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) та штучного інтелекту (Artificial Intelligence) для виявлення прихованих закономірностей, неочевидних кореляцій, статистично значущих аномалій, просторово-часових трендів та потенційних екологічних ризиків, а також змістовну, контекстно-орієнтовану, легко інтерпретовану, адаптивну та персоналізовану візуалізацію отриманих результатів для широкого кола кінцевих користувачів, включаючи науковців-гідрологів, інженерів-екологів, фахівців з водного господарства, представників органів державної влади різного рівня, співробітників місцевого самоврядування, працівників промислових підприємств та осіб, що приймають відповідальні стратегічні рішення у сфері охорони навколишнього природного середовища, сталого управління цінними водними ресурсами та забезпечення екологічної безпеки населення. Безперешкодна, автоматизована, стандартизована, безпечна та високоефективна інтеграція зібраних первинних даних до централізованих та розподілених баз даних різного рівня доступу, потужних геоінформаційних систем (ГІС) з розширеними функціями просторового аналізу та моделювання для точного відображення просторової прив'язки зібраної інформації, візуалізації динаміки екологічних процесів на інтерактивних картографічних платформах та комплексного аналізу просторових закономірностей, а також до спеціалізованих інтерактивних інформаційних панелей моніторингу, що оновлюються в режимі реального часу з можливістю кастомізації інтерфейсу та налаштування відображення ключових показників, забезпечуючи миттєвий, зручний та контекстно-орієнтований доступ

до актуальної інформації, дозволяє приймати своєчасні, обґрунтовані, науково підтвержені, економічно доцільні та соціально відповідальні управлінські рішення щодо ефективного управління водними об'єктами різного типу, призначення та масштабу, оперативно запобігати потенційним екологічним інцидентам, швидко та точно виявляти можливі джерела забруднення різного генезису, прогнозувати їхню подальшу міграцію та вплив на водні екосистеми, а також здійснювати постійний, всебічний, об'єктивний, прозорий та екологічно обґрунтований контроль за динамікою змін ключових гідрохімічних, гідробіологічних, гідрофізичних, токсикологічних та мікробіологічних показників якості води на різних просторово-часових масштабах, забезпечуючи тим самим інформаційну підтримку для прийняття рішень на основі фактичних даних[7].

Застосування таких інтелектуальних кіберфізичних систем моніторингу водних ресурсів є особливо перспективним, надзвичайно актуальним, економічно вигідним, соціально значущим та екологічно обґрунтованим у широкому спектрі галузей народного господарства, сфер життєдіяльності суспільства, державного управління та міжнародного співробітництва, включаючи стратегічно важливу сферу комплексного управління водними ресурсами на державному, регіональному, місцевому та транскордонному рівнях, здійснення безперервного, всебічного, високоточного та оперативного моніторингу забруднення різноманітних поверхневих та підземних водних об'єктів, таких як великі та малі річки, природні та штучні озера, водосховища питного, технічного, іригаційного, рекреаційного та енергетичного призначення, а також критично важливі підземні водоносні горизонти, в інтенсивному та сталому сільському господарстві для точного та ефективного контролю якості води, що використовується для зрошення різноманітних сільськогосподарських культур, аквакультури та тваринництва, а також у розвиненому міському господарстві для оперативного, ефективного та екологічно безпечного моніторингу стану складних інженерних каналізаційних систем, ефективності роботи очисних споруд комунальних та промислових підприємств та якості стічних вод, що скидаються у водні об'єкти, а

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також для моніторингу якості питної води в системах централізованого водопостачання. Подальше значне розширення функціональних можливостей розробленої інтелектуальної системи за рахунок інтеграції додаткових інноваційних інтелектуальних модулів, таких як високоточні системи глобального позиціонування (GPS) та глобальних навігаційних супутникових систем (ГЛОНАСС) для точної геолокації джерел даних, стаціонарного та мобільного обладнання, передові алгоритми прогнозного моделювання та машинного навчання на основі штучного інтелекту (ШІ) для виявлення складних нелінійних залежностей між різними параметрами водного середовища та навколишнього середовища, а також для точного передбачення майбутніх змін ключових гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних параметрів водних об'єктів, включаючи прогнозування паводків, посух та цвітіння водоростей, а також автоматизоване формування детальних аналітичних звітів, інтерактивних інформаційних дашбордів та персоналізованих візуалізацій у зручному, адаптивному та захищеному для широкого кола користувачів форматі, дозволяє розробленій системі не лише оперативно реагувати на поточні зміни екологічних параметрів, але й здійснювати глибокий прогностичний аналіз, завчасно виявляючи потенційні екологічні ризики, небезпечні тренди, критичні точки в екосистемах водних об'єктів та розробляти превентивні заходи для їхнього запобігання [8].

У сучасному глобальному контексті сталого розвитку, неухильного підвищення рівня екологічної свідомості суспільства, активного впровадження концепції "розумних міст" та всеосяжної цифрової трансформації всіх сфер життєдіяльності.

Таблиця 2.2 – Додаткові модулі систем

№	Назва модуля	Призначення	Примітка

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	ESP32	Головний мікроконтролер	Обробка та передача даних
2	SIM800L	GSM-модуль для передачі даних	Працює з SIM-картами 2G
3	TP4056	Контролер заряду акумулятора	Захист від перенапруги
4	Акумулятор Li-Ion	Джерело живлення	Ємність 3000–5000 мА·год
5	Сонячна панель	Генерація електроенергії	Потужність 5–6 Вт

2.5 Конструктивне виконання та монтаж

Для забезпечення абсолютної стабільності, безперебійності, виняткової надійності та надзвичайно довготривалої експлуатації всіх критично важливих апаратних модулів розробленої високоінтелектуальної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища, особливо в умовах потенційно екстремального та агресивного зовнішнього середовища, що характеризується непередбачуваними та значними коливаннями температури, підвищеною вологістю, інтенсивним ультрафіолетовим випромінюванням, частими механічними впливами (вібрації, удари) та наявністю значної кількості пилу, бруду та абразивних частинок, було прийнято стратегічне, інженерно обґрунтоване та технологічно вивірене рішення про їхнє комплексне розміщення у спеціально розробленому, надзвичайно міцному, герметичному та ударостійкому пластиковому корпусі промислового класу. Рівень захисту цього корпусу повністю відповідає вимогам міжнародного стандарту IP65 або навіть перевищує їх, що підтверджується rigorous тестуванням та сертифікацією, забезпечуючи тим самим найвищий ступінь безпеки та надійності функціонування всіх внутрішніх електронних компонентів у найскладніших

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах. [10]Цей високий ступінь захисту гарантує повну та всеосяжну ізоляцію всіх внутрішніх чутливих електронних компонентів від проникнення твердих частинок будь-якого розміру (від мікроскопічного пилу до піщинок), включаючи дрібний пил, будівельний бруд, пісок, абразивні матеріали, що могли б спричинити короткі замикання або механічні пошкодження. Крім того, забезпечується абсолютний захист від згубного впливу вологи у будь-якій її формі, включаючи випадкові бризки води з будь-якого напрямку, інтенсивні атмосферні опади (такі як сильний дощ, мокрий сніг, снігопад), а також захист від струменів води під тиском та навіть короточасного занурення у воду на невелику глибину. Високоякісний полімерний матеріал, з якого виготовлено корпус, є ключовим фактором його довговічності. Він характеризується підвищеною стійкістю до тривалого впливу інтенсивного ультрафіолетового випромінювання, що особливо актуально для систем, що експлуатуються під прямими сонячними променями. Це ефективно запобігає його фотодеградації (процесу руйнування матеріалу під впливом УФ), втраті первісних фізико-механічних властивостей, таких як міцність, еластичність, колір та форма. [36] Що особливо важливо для забезпечення довготривалої та безвідмовної працездатності системи, матеріал зберігає абсолютну герметичність протягом усього розрахункового терміну експлуатації системи під прямими сонячними променями в різних кліматичних зонах з різною інтенсивністю сонячної радіації. Всі зовнішні сенсори, які за своєю функціональною необхідністю безпосередньо контактують з водним середовищем (наприклад, датчики рН, температури, електропровідності) або навколишнім атмосферним повітрям, виводяться назовні через спеціально розроблені, багаторазово протестовані та сертифіковані герметичні кабельні вводи та порти з високим ступенем захисту від проникнення вологи та пилу (часто відповідають IP67 або IP68), забезпечуючи надзвичайно надійне ущільнення місць з'єднання та повністю виключаючи можливість проникнення вологи всередину герметичного об'єму корпусу. [18] Це, у свою чергу, гарантує довготривалу, стабільну та безвідмовну роботу всієї складної електронної системи. Як альтернативний

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіант для підключення деяких специфічних сенсорів, що потребують більшої гнучкості при монтажі та експлуатації (наприклад, датчики, що часто переміщуються або замінюються), можуть використовуватися гнучкі водозахищені кабелі з високоякісними герметичними роз'ємами промислового стандарту, що забезпечує додаткову зручність та оперативність при монтажі, підключенні, від'єднанні та подальшому технічному обслуговуванні окремих елементів системи. [23] Продумана та універсальна конструкція кріплення герметичного корпусу передбачає різноманітні варіанти установки та надає широкий спектр можливостей для розміщення системи в різних умовах експлуатації, включаючи можливість надійної установки на спеціалізованій плавучій платформі для здійснення безпосереднього моніторингу параметрів води на поверхні водойми (озер, річок, ставків), а також на стаціонарній опорній конструкції, встановленій безпосередньо біля берегової лінії, на дні водойми або на гідротехнічній споруді (дамбі, мості, причалі). Така адаптивність дозволяє оптимально інтегрувати систему в різні типи водних об'єктів, враховуючи їхні гідрологічні особливості (глибина, течія, рівень води), специфічні умови моніторингу (тривалість, інтенсивність) та індивідуальні вимоги кінцевого користувача. Внутрішня ергономічна організація герметичного корпусу ретельно продумана, оптимізована та раціонально спланована для забезпечення найбільш сприятливих умов роботи всіх розміщених всередині чутливих електронних компонентів. Це включає мінімізацію ризику їхнього механічного пошкодження від вібрацій або ударів, а також полегшення доступу для проведення планового технічного обслуговування, діагностики та заміни елементів.[45] Для зручного та надійного механічного розміщення ключових функціональних модулів системи, таких як високопродуктивний центральний мікроконтролер з низьким енергоспоживанням, інтелектуальний контролер заряду та розряду акумуляторної батареї з вбудованими функціями захисту від перевантаження та глибокого розряду, компактний та енергоефективний модуль бездротового зв'язку з підтримкою сучасних протоколів передачі даних (Wi-Fi, Bluetooth Low Energy,

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опціонально LoRaWAN) та стабілізований блок живлення промислового класу з широким діапазоном вхідних напруг та захистом від стрибків, передбачено використання стандартизованого монтажного шасі з антистатичним покриттям або спеціалізованої багатошарової друкованої плати з надійними механічними кріпильними елементами (стійки, гвинти). Це шасі забезпечує не лише надійне механічне кріплення всіх електронних компонентів, запобігаючи їхнім випадковим зміщенням, вібрації та механічним пошкодженням під час транспортування або тривалої експлуатації в умовах підвищеної вібрації, але й значно полегшує процес їхнього подальшого технічного обслуговування, діагностики несправностей та можливої заміни у випадку виникнення такої необхідності, мінімізуючи час простою системи. З метою ефективного запобігання перегріву чутливих електронних компонентів під час їхньої інтенсивної роботи та утворенню конденсату всередині герметичного корпусу внаслідок значних перепадів зовнішньої та внутрішньої температури (що може призвести до корозії металевих елементів, коротких замикань та виходу обладнання з ладу), конструкцією корпусу передбачені спеціально розраховані вентиляційні отвори з пило-вологозахисними фільтрами та мембранами. Ці елементи забезпечують постійну та контрольовану циркуляцію повітря всередині корпусу, а також ефективні дренажні канали з клапанами для своєчасного відведення випадково потрапленої або сконденсованої вологи, підтримуючи таким чином оптимальний мікроклімат для надійної та довготривалої роботи всієї складної електронної начинки системи. Загальна конструкція герметичного корпусу та високоякісні полімерні матеріали, що були використані для його виготовлення, ретельно розраховані на експлуатацію в надзвичайно широкому діапазоні температур навколишнього середовища – від екстремально низьких зимових температур, що можуть сягати мінус 20 градусів Цельсія, до високих літніх температур, які можуть перевищувати плюс 60 градусів Цельсія. Така розширена температурна стійкість робить розроблену інтелектуальну систему придатною для безперервного цілорічного використання в різноманітних

кліматичних зонах з різними температурними режимами (від помірного до тропічного або арктичного) без будь-якої втрати її функціональності, високої надійності та точності здійснюваних вимірювань, забезпечуючи стабільний та якісний моніторинг стану водних об'єктів незалежно від пори року та екстремальних погодних умов.

2.6 Висновки до другого розділу

У цьому розділі представлено всебічний та надзвичайно детальний аналіз, а також розгорнутий та глибокий опис апаратного забезпечення ретельно спроектованої та оптимізованої кіберфізичної системи, яка спеціально призначена для забезпечення високоточного та безперервного контролю за широким спектром критично важливих параметрів стану водного середовища в різноманітних, часто складних умовах експлуатації. У процесі фундаментального дослідження було чітко визначено багаторівневу та гнучку ключову архітектуру системи, здійснено ретельний та науково обґрунтований вибір основних електронних, електромеханічних та оптичних компонентів, які відповідають за високоточне, стабільне та надійне вимірювання найважливіших фізико-хімічних, гідродинамічних та біологічних характеристик води, а також успішно впроваджено інноваційний та екологічно відповідальний принцип високої енергоефективності, що базується на інтеграції інтелектуальної системи автономного та екологічно чистого сонячного живлення, забезпечуючи тривалу та абсолютно незалежну роботу системи без будь-якої потреби у постійних зовнішніх джерелах енергії, що є критично важливим для віддалених та автономних застосувань.

В основі цієї передової розробки лежить потужна, багатофункціональна та надзвичайно гнучка мікроконтролерна платформа ESP32, яка виконує широкий спектр критично важливих завдань, що є серцем та мозком усієї системи. Вона відповідає не лише за ефективний, стабільний та надзвичайно надійний збір

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

первинних даних від широкого спектру підключених високоточних сенсорів, але й за їхню попередню інтелектуальну обробку з використанням передових алгоритмів фільтрації та калібрування, здійснення локального аналізу отриманої інформації з виявленням статистичних закономірностей та аномальних відхилень, а також за безпечне, швидке та надійне передавання оброблених даних через різноманітні стабільні та енергоефективні бездротові канали зв'язку, що значно підвищує загальну гнучкість, універсальність та зручність експлуатації системи в найрізноманітніших сценаріях використання – від стаціонарних пунктів моніторингу до мобільних та повністю автономних платформ. Для забезпечення всебічного, комплексного та глибокого аналізу якості води було ретельно підібрано оптимальний набір взаємодоповнюючих високоточних сенсорів, які в своїй сукупності дозволяють здійснювати вимірювання широкого спектру критично важливих параметрів, таких як кислотно-лужний баланс (рН) з високою точністю, температура водного середовища з мінімальною похибкою, показник електропровідності, що відображає вміст розчинених солей, концентрація розчиненого кисню, необхідного для підтримання життя водних організмів, рівень прозорості або каламутності (мутність), що вказує на наявність завислих речовин, окисно-відновний потенціал (ОВП), що характеризує хімічну активність води, вміст певних специфічних іонів та інших хімічних сполук, залежно від конкретних потреб моніторингу та специфіки досліджуваного водного об'єкта. Усі чутливі та критично важливі електронні компоненти системи надійно розміщені та комплексно захищені всередині міцного, герметичного та стійкого до зовнішніх впливів корпусу, виготовленого з високоякісних інженерних пластиків та композитних матеріалів, що забезпечує високу стійкість до широкого спектру несприятливих факторів зовнішнього середовища, включаючи високу вологість, значні перепади температур, інтенсивне запилення, прямий вплив агресивних хімічних речовин та механічні пошкодження, та дозволяє безпечно, стабільне та ефективно використання системи в найскладніших польових умовах протягом надзвичайно тривалого періоду часу.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, ретельно розроблена та оптимізована апаратна частина представленої інноваційної кіберфізичної системи характеризується надзвичайно гнучкою, масштабованою та адаптивною архітектурою, що надає унікальну можливість її ефективного застосування в найрізноманітніших умовах та сценаріях використання, включаючи стаціонарні пункти безперервного та високоточного моніторингу якості води в промислових зонах, екологічно чутливих природних заповідниках та густонаселених міських агломераціях, мобільні польові лабораторії для оперативного, експресного та високоточного аналізу проб води безпосередньо в місцях відбору, а також повністю автономні платформи, що можуть бути розміщені на значній відстані від будь-якої інфраструктури для здійснення довготривалих, безперервних та комплексних екологічних спостережень без потреби в регулярному та дорогому обслуговуванні. Запропоноване інноваційне та комплексне технічне рішення створює міцну, надійну та високоефективну основу для успішного та широкомасштабного впровадження розробленої системи в реальні екологічні програми, науково-дослідні проєкти та практичні заходи, спрямовані на глибоке дослідження, ефективне управління, раціональне використання та надійну охорону цінних та життєво необхідних водних ресурсів нашої планети для майбутніх поколінь.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДИ

3.1 Загальна структура реалізації системи

Кіберфізичні системи, що являють собою передовий та надзвичайно перспективний напрямок сучасного технологічного розвитку, передбачають глибоку, нерозривну та інтелектуальну інтеграцію обчислювальних ресурсів, включаючи потужні мікропроцесори, складні алгоритми обробки даних та розвинені мережеві комунікації, з фізичними процесами реального світу, забезпечуючи таким чином можливість ефективного моніторингу, аналізу та керування складними фізичними системами в режимі реального часу. У контексті розробки інтелектуальної та автономної системи моніторингу стану води, яка є критично важливим завданням для забезпечення екологічної безпеки та сталого управління водними ресурсами, ключовою метою є створення комплексного, надійного та енергоефективного апаратного забезпечення, здатного ефективно збирати первинні дані про широкий спектр різноманітних фізико-хімічних та біологічних параметрів водного середовища, здійснювати їхню попередню локальну обробку для зменшення обсягу переданої інформації та підвищення її якості, забезпечувати надійну та безперебійну передачу отриманої цінної інформації до централізованої системи аналізу та зберігання, а також надавати наочну, інтуїтивно зрозумілу та контекстно-залежну візуалізацію ключових показників для оперативного прийняття обґрунтованих рішень. Розроблена інтелектуальна система має безперервно та в автоматичному режимі відстежувати такі фундаментальні характеристики якості води, як рівень температури, показник кислотно-лужного балансу (рН), який є критично важливим для життєдіяльності водних організмів, а за потреби може бути легко розширена шляхом інтеграції додаткових сенсорів для моніторингу й інших не менш важливих параметрів, включаючи електропровідність, що відображає вміст розчинених солей та мінералів, концентрацію розчиненого кисню, необхідного для аеробних процесів,

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень каламутності, що вказує на наявність завислих твердих частинок, окисно-відновний потенціал (ОВП), а також наявність різноманітних органічних та неорганічних домішок, важких металів та інших якісних характеристик, що визначають придатність води для різних цілей.

Зважаючи на певні об'єктивні складнощі, пов'язані з фізичним створенням повноцінного функціонального прототипу пристрою в умовах обмеженого лабораторного середовища на початковому етапі розробки, особливо з урахуванням необхідності точного калібрування сенсорів та проведення всебічних польових випробувань, практичну реалізацію початкової концепції було вирішено здійснити у віртуальному середовищі за допомогою інноваційної та надзвичайно зручної онлайн-платформи Tinkercad. Це потужне та інтуїтивно зрозуміле онлайн-середовище розробки забезпечує унікальну можливість детального та реалістичного симулювання складних електронних схем, розробки та програмування мікроконтролерів на основі популярної платформи Arduino, а також комплексної перевірки їхньої функціональності, взаємодії між різними віртуальними компонентами та поведінки системи в різних змодельованих сценаріях без необхідності фізичного монтажу реальних електронних компонентів, що значно прискорює процес прототипування, дозволяє швидко вносити зміни до конструкції та програмного коду, а також суттєво зменшує фінансові та часові витрати на початкових етапах проєктування.

Загальна функціональна схема розробленої віртуальної системи включає такі ключові апаратні елементи: універсальний та надзвичайно популярний мікроконтролер Arduino UNO, високоточні віртуальні сенсори для моделювання вимірювання температури та рН водного середовища, інформативний рідкокристалічний дисплей (LCD 16x2) для наочного відображення поточних значень ключових параметрів, прості та ефективні світлодіодні індикатори різних кольорів для забезпечення швидкого візуального оповіщення оператора про критичні зміни показників, а також прецизійний віртуальний потенціометр, призначений для імітації процедури калібрування віртуальних сенсорних

вимірювань, підвищуючи таким чином їхню віртуальну точність та адекватність. Крім того, у віртуальній схемі передбачена потенційна можливість інтеграції віртуального бездротового Wi-Fi модуля (наприклад, ESP8266 або його функціонального аналога) для моделювання процесу передачі зібраних даних до віддаленої віртуальної бази даних для подальшого аналізу, довготривалого зберігання та візуалізації, однак у віртуальному середовищі Tinkercad функціональність цього складного компонента симулюється лише частково через певні обмеження платформи, що не є критичним для демонстрації основних принципів роботи системи.

Процес створення віртуальної моделі розробленої кіберфізичної системи був чітко та логічно поділений на ряд послідовних та взаємопов'язаних етапів, які охоплюють детальне проектування віртуальної апаратної схеми з урахуванням ефективної взаємодії всіх задіяних віртуальних електронних компонентів, розробку програмного коду на мові C++ для мікроконтролера Arduino UNO з метою забезпечення ефективної взаємодії між різними віртуальними апаратними елементами, комплексну перевірку логіки обробки вхідних аналогових сигналів від віртуальних сенсорів, організацію зручного виведення отриманих результатів віртуальних вимірювань на віртуальний рідкокристалічний дисплей для забезпечення наочного візуального контролю за основними параметрами, а також моделювання реакції віртуальної системи на штучно створені відхилення вимірюваних параметрів (температури та рН) від попередньо встановлених допустимих меж, що дозволяє оцінити загальну працездатність віртуальної моделі та адекватність її реакції в різних змодельованих сценаріях.

Таким чином, розроблена на початковому етапі ініціальна віртуальна модель кіберфізичної системи моніторингу стану води успішно демонструє основні принципи побудови сучасної інтелектуальної системи такого класу, ефективно поєднуючи процеси збору первинних даних, їхньої локальної обробки та наочної візуалізації ключових показників, і є ефективною, гнучкою та перспективною основою для подальшої, більш детальної та комплексної розробки

повнофункціонального фізичного пристрою, готового до реального практичного застосування в різноманітних сценаріях моніторингу водних екосистем.

3.2 Вибір середовища моделювання: Tinkercad

У процесі розробки інноваційної кіберфізичної системи, призначеної для безперервного та високоточного моніторингу стану водного середовища в різноманітних екологічних умовах, виникла нагальна потреба у ретельному та обґрунтованому виборі оптимального віртуального середовища розробки. Це середовище мало б забезпечити розробникам можливість створення деталізованих та реалістичних віртуальних моделей складних електронних пристроїв, надавати широкий та всеосяжний доступ до великої бібліотеки різноманітних віртуальних електронних компонентів, що імітують реальні аналоги, а також безперешкодно підтримувати написання, компіляцію, завантаження та налагодження програмного коду для ефективного керування цими віртуальними апаратними елементами, що є критично важливим для адекватної симуляції поведінки майбутньої фізичної системи. Платформа Tinkercad була обрана як найбільш прийнятний, функціонально багатий та зручний у використанні інструмент для досягнення поставлених амбітних цілей з огляду на низку вагомих, науково обґрунтованих та беззаперечних причин, що чітко демонструють її значні функціональні переваги, високу ступінь інтеграції інструментів розробки та надзвичайну зручність використання порівняно з іншими доступними аналогічними середовищами розробки та симуляції електронних схем, особливо на початкових етапах проектування та прототипування.

Перш за все, платформа Tinkercad надає своїм користувачам інтуїтивно зрозумілий, візуально орієнтований, ергономічний та надзвичайно зручний графічний інтерфейс для проектування та створення складних електронних схем віртуальних пристроїв шляхом простого перетягування та з'єднання віртуальних компонентів, використовуючи при цьому велику, постійно оновлювану, добре

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структуровану та зручно категоризовану бібліотеку стандартних та широко використовуваних в інженерній практиці електронних компонентів різного призначення та функціональності. Зокрема, ця платформа забезпечує повну та всебічну підтримку таких критично важливих для успішної розробки досліджуваної кіберфізичної системи елементів, як універсальний, надзвичайно популярний та широко підтримуваний спільнотою розробників мікроконтролер Arduino UNO, різноманітні типи та розміри рідкокристалічних (LCD) дисплеїв з різною роздільною здатністю та кількістю символів для наочного відображення інформації про стан системи та результати вимірювань, прецизійні потенціометри для аналогового регулювання віртуальних параметрів та імітації поведінки аналогових сенсорів, чутливі терморезистори для точного віртуального вимірювання температури навколишнього середовища та моделювання температурних змін, резистори з різними номіналами опору для моделювання реальних електричних ланцюгів, світлодіоди різних кольорів та розмірів для забезпечення простої та ефективної візуальної індикації стану системи та аварійних сигналів, а також багато інших активних та пасивних електронних компонентів, включаючи транзистори, конденсатори, котушки індуктивності та інтегральні мікросхеми. Ця широка та різноманітна підтримка віртуальних компонентів дає розробникам унікальну змогу з високою точністю, деталізацією та реалістичністю відтворити структуру майбутньої фізичної частини розроблюваної кіберфізичної системи, змоделювати її електричні з'єднання та передбачити її поведінку в різних режимах роботи, навіть не маючи фізичного доступу до реальних апаратних модулів на початкових етапах проєктування, моделювання та всебічного віртуального тестування.

По-друге, платформа Tinkercad інтегрує в собі повнофункціональний, зручний у використанні та інтуїтивно зрозумілий редактор програмного коду, який базується на знайомому, широко поширеному та добре документованому серед інженерів, студентів та розробників середовищі Arduino IDE. Це забезпечує користувачам можливість здійснювати повноцінне програмування віртуального

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера Arduino UNO, реалізуючи складну та розгалужену логіку обробки вхідних аналогових та цифрових сигналів, що надходять від віртуальних сенсорів, ефективне керування відображенням різноманітної текстової та числової інформації на віртуальному рідкокристалічному дисплеї, програмування алгоритмів реагування віртуальної системи на виявлені відхилення вимірюваних значень ключових параметрів від попередньо встановлених допустимих меж, а також зручне виведення важливої діагностичної інформації, налагоджувальних повідомлень та результатів роботи програми через вбудований віртуальний послідовний монітор для ефективного налагодження, відстеження помилок та всебічного контролю за роботою розробленої віртуальної системи на різних етапах її функціонування та тестування.

Однією з переваг обраного віртуального середовища розробки є також вбудована підтримка симуляції електронних схем у режимі, максимально наближеному до реального часу, що є особливо важливим та ефективним інструментом для детального аналізу поведінки розробленої віртуальної системи в умовах динамічної зміни зовнішніх параметрів та моделювання різноманітних сценаріїв її роботи, включаючи нормальний режим, аварійні ситуації та граничні умови експлуатації. Зокрема, користувач має можливість інтерактивно та в реальному часі змінювати вхідні значення віртуальних сенсорів, наприклад, імітуючи зміну опору віртуального терморезистора залежно від змодельованої зміни температури навколишнього середовища або повертаючи віртуальний потенціометр для зміни аналогового електричного сигналу, і миттєво спостерігати за відповідними змінами вихідних показників, таких як віртуальні значення рН або температури, що відображаються на віртуальному дисплеї, а також детально відстежувати реакцію на ці зміни запрограмованої логіки керування віртуальної системи, включаючи активацію віртуальних світлодіодних індикаторів та виведення відповідних текстових повідомлень.

Крім того, варто особливо відзначити інтуїтивно зрозумілий, дружній до користувача, ергономічний та надзвичайно простий у використанні графічний

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейс платформи Tinkercad, який робить її надзвичайно доступною та ефективною для широкого кола користувачів з різним рівнем технічної підготовки, включаючи студентів, аспірантів, молодих та досвідчених дослідників, інженерів-початківців та професіоналів, навіть тих, хто не має глибоких попередніх знань та практичних навичок у галузі складної схемотехніки або мікроелектроніки для ефективного початку роботи над власними інноваційними проєктами в галузі кіберфізичних систем та інтернету речей (IoT). Цей важливий фактор робить Tinkercad особливо привабливим та ефективним для використання в різноманітних освітніх цілях, включаючи лабораторні роботи, курсові проєкти та дипломні дослідження, а також для швидкого створення функціональних дослідницьких прототипів, таких як той, що активно розробляється в межах даної дипломної роботи.

Таким чином, обрана віртуальна платформа Tinkercad повністю та з запасом задовольнила всі висунуті на початковому етапі розробки потреби моделювання складної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища, дозволивши наочно втілити всі заплановані функціональні модулі, провести детальний аналіз взаємодії між різними віртуальними електронними компонентами та отримати цінну можливість всебічно оцінити роботу віртуальної системи в умовах, максимально наближених до потенційних реальних сценаріїв її майбутнього практичного застосування в різноманітних галузях науки та техніки.

3.3 Обґрунтування вибору основних електронних компонентів

Ретельний та обґрунтований вибір електронних компонентів для створення функціональної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища є критично важливим етапом у всьому процесі розробки. При цьому головними критеріями, що визначали остаточний склад елементної бази, були такі ключові характеристики, як висока надійність в умовах потенційної тривалої експлуатації, достатня точність вимірювань для забезпечення репрезентативності даних, оптимальна енергоефективність для мінімізації споживання енергії та

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення тривалої автономної роботи, а також повна апаратна та програмна сумісність з обраною мікроконтролерною платформою Arduino UNO.

Центральною обчислювальною одиницею розробленої системи виступає широко поширений та добре зарекомендований мікроконтролер Arduino UNO. Цей вибір був зумовлений його безперечною доступністю на ринку електронних компонентів, наявністю значної кількості універсальних цифрових та аналогових входів/виходів, що є необхідним для підключення різноманітних сенсорів та виконавчих пристроїв, а також потужною та активною підтримкою з боку великої міжнародної спільноти розробників, що значно полегшує пошук необхідної технічної інформації, готових бібліотек та прикладів коду. Функціональних можливостей мікроконтролера Arduino UNO є цілком достатньо для ефективного зчитування даних одночасно з декількох сенсорів, виконання необхідної первинної обробки отриманої інформації, а також для організації виведення оброблених результатів на інформативний дисплей.

Для здійснення точного вимірювання температури водного середовища в розробленій системі було застосовано надійний та простий у використанні датчик на базі NTC-терморезистора. Цей тип температурних датчиків широко використовується в різноманітних застосуваннях завдяки своїй відносній простоті підключення до мікроконтролера та забезпеченню прийнятної точності вимірювань для задач середнього рівня складності, до яких належить і даний проєкт. У віртуальному середовищі Tinkercad імітація роботи NTC-терморезистора зручно реалізується за допомогою віртуального змінного резистора, що дозволяє наочно симулювати зміну температури в режимі реального часу та спостерігати за відповідними змінами опору.

Визначення важливого показника рівня рН води в розробленій системі базується на використанні зовнішнього спеціалізованого рН-датчика, який у віртуальній моделі представлено як аналоговий модуль, що також має віртуальний калібрувальний потенціометр для налаштування точності вимірювань. Оскільки у віртуальному середовищі Tinkercad точна модель

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конкретного рН-датчика може бути відсутня, його основна функціональність ефективно моделюється за допомогою віртуального потенціометра, вихідний сигнал якого програмно пов'язується з відповідною логікою перетворення аналогового сигналу в значення рН.

Для забезпечення наочної індикації отриманих результатів вимірювань у розробленій системі використовується стандартний та широко поширений LCD-дисплей з конфігурацією 16x2 символів, який підключається до мікроконтролера Arduino UNO за допомогою зручної шини I2C або стандартного паралельного інтерфейсу, залежно від доступних віртуальних компонентів та вимог проєкту. Цей тип дисплеїв дозволяє ефективно виводити як числові значення виміряних параметрів, так і різноманітні текстові повідомлення, забезпечуючи зручний та зрозумілий інтерфейс для оператора системи. У віртуальному середовищі Tinkercad процес реалізації підключення LCD-дисплея є інтуїтивно зрозумілим, а численні приклади програмного коду доступні у стандартній бібліотеці LiquidCrystal, що значно полегшує процес розробки відповідного програмного забезпечення.

Для забезпечення простого візуального попередження оператора про вихід ключових параметрів за встановлені критичні значення в розробленій системі передбачено використання світлодіодів (LED) різних кольорів. Наприклад, червоний світлодіод може автоматично активуватися у випадку виявлення перевищення допустимого рівня рН, а синій світлодіод – при фіксації занадто низької температури води. Таке просте та ефективне рішення дає змогу оперативно реагувати на важливі зміни параметрів без необхідності постійного спостереження за показаннями дисплея або використання додаткових контрольно-вимірювальних приладів.

Крім того, важливим елементом у структурі розробленої віртуальної схеми є резистори, які є необхідними для забезпечення коректного та безпечного функціонування NTC-терморезистора, LCD-дисплея та світлодіодів. Резистори

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконують важливу функцію обмеження електричного струму, що протікає через ці компоненти, запобігаючи їхньому перегріву та потенційному виходу з ладу.

Таким чином, усі електронні компоненти, що входять до складу розробленої віртуальної кіберфізичної системи моніторингу стану води, були ретельно підібрані на основі їхньої доступності у віртуальному середовищі Tinkercad, повної відповідності технічним вимогам до функціональності системи, а також здатності забезпечити інтегровану та злагоджену роботу в межах єдиної, логічно побудованої архітектури.

Таблиця 3.1 – Використані модулі

№	Компонент	Призначення	Коментар до використання в Tinkercad
1	Arduino UNO	Центральний контролер	Повна підтримка
2	Потенціометр	Симуляція рН-датчика	Використовується як аналоговий датчик
3	NTC-терморезистор	Вимірювання температури	Змінюваний опір імітує зміну температури
4	LCD-дисплей 16x2	Виведення значень температури та рН	Підключення через бібліотеку LiquidCrystal
5	Світлодіоди (червоний/зелений)	Індикація критичних значень	Відображення стану системи
6	Резистори	Обмеження струму, захист	Встановлюються у всі ключові вузли

3.4 Побудова схеми у Tinkercad та логіка роботи

У віртуальному середовищі Tinkercad, яке є потужним та інтуїтивно зрозумілим онлайн-інструментом для проектування, симуляції та документування

електронних схем, було ретельно, крок за кроком розроблено та побудовано детальну, функціональну та інтерактивну модель кіберфізичної системи моніторингу стану води. Ця віртуальна модель наочно та динамічно відображає всі ключові етапи обробки первинної вхідної інформації, починаючи від самого моменту її отримання з віртуальних аналогових сенсорів, що імітують роботу реальних датчиків фізичних величин, і закінчуючи відповідною запрограмованою реакцією віртуальної системи у вигляді чітких візуальних сигналів, що відображаються на віртуальних світлодіодних індикаторах, та інформативних текстових повідомлень, що виводяться на віртуальний рідкокристалічний дисплей. Створена інтегрована віртуальна схема передбачає послідовне, логічне та функціональне з'єднання центрального керуючого мікроконтролера Arduino UNO, який є серцем віртуальної системи та відповідає за обробку даних та керування периферійними пристроями, з віртуальними аналоговими датчиками, що імітують збір даних про ключові параметри води, різноманітними візуальними індикаторами, такими як світлодіоди різних кольорів для сигналізації про стан системи, та інформативним рідкокристалічним дисплеєм, призначеним для відображення числових значень вимірюваних параметрів та текстових повідомлень про поточний стан віртуальної системи. Кожен віртуальний електронний компонент, що входить до складу цієї ретельно спроектованої схеми, має чітко визначене логічне призначення в межах загальної архітектури віртуальної системи та виконує свою специфічну функцію, імітуючи таким чином роботу майбутнього повноцінного фізичного прототипу, що дозволяє на ранніх етапах розробки протестувати основні принципи функціонування майбутнього пристрою.

Функціонування розробленої віртуальної системи розпочинається з безперервного та повністю автоматизованого процесу зчитування аналогових електричних сигналів. Ці сигнали надходять із двох основних віртуальних джерел, які ретельно імітують роботу реальних фізичних сенсорів, забезпечуючи

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достовірність моделювання. Першим джерелом є прецизійний потенціометр, який у цій віртуальній моделі умовно виконує роль віртуального датчика рівня рН. Він генерує аналоговий електричний сигнал, величина якого точно пропорційна поточному рівню кислотності віртуального водного середовища. Це дозволяє симулювати широкий діапазон рН, від сильно кислотного до сильно лужного, для всебічного тестування реакції системи. Другим ключовим джерелом є віртуальний терморезистор, який імітує зміну температури віртуального водного середовища шляхом відповідної зміни свого електричного опору. Така зміна опору, у свою чергу, призводить до зміни величини вихідного аналогового сигналу, що надходить на мікроконтролер, відображаючи температурні коливання.

Отримані аналогові дані з цих двох основних віртуальних сенсорів послідовно та безперебійно передаються на відповідні аналогові вхідні піни мікроконтролера Arduino UNO. Саме тут відбувається один з найважливіших етапів обробки: за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) ці аналогові сигнали оцифровуються. Це перетворення дозволяє мікроконтролеру, який працює з цифровими даними, інтерпретувати й обробляти інформацію, що надходить з аналогових джерел. Після оцифрування дані піддаються первинній обробці відповідно до ретельно закладеного програмного алгоритму. Цей алгоритм є невід'ємною частиною основного циклу виконання програмної логіки, завантаженої в мікроконтролер і написаної на мові програмування C++. Вона відповідає за інтерпретацію сирих даних, їхню фільтрацію від можливих віртуальних "шумів" та підготовку для подальшого аналізу та відображення. Цей початковий етап обробки є критично важливим для забезпечення точності та надійності всіх подальших операцій віртуальної системи.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

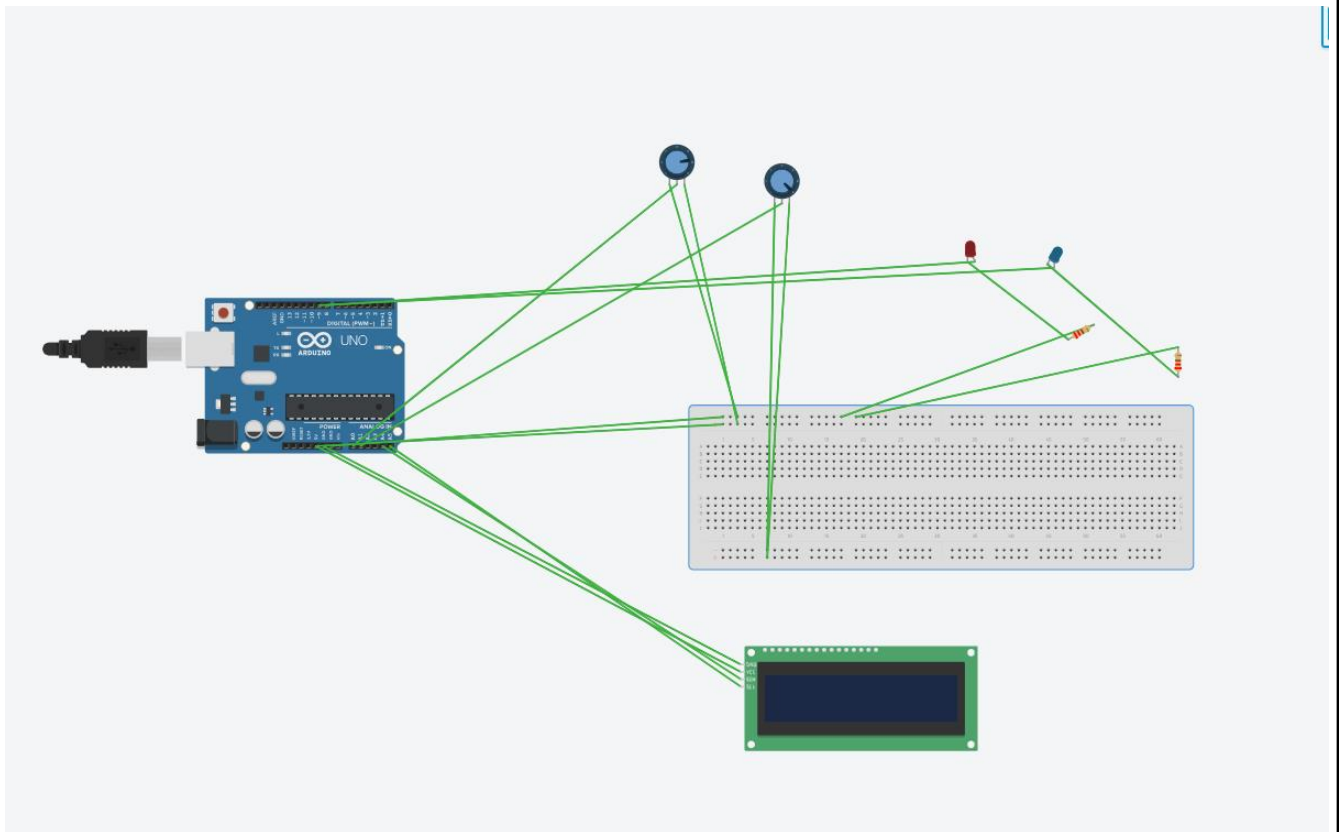


Рисунок 3.1– Вигляд схеми у Tinkercad

Запрограмований алгоритм, що безперервно виконується центральним мікроконтролером Arduino UNO, постійно здійснює ретельну перевірку отриманих оцифрованих значень температури та рН на предмет їхнього виходу за попередньо встановлені критичні межі, які визначають неприпустимі для нормального функціонування системи діапазони значень. Зокрема, якщо віртуальне значення рН опускається нижче критичної нижньої позначки в 6.5 (що свідчить про занадто кисле середовище) або піднімається вище небезпечного верхнього рівня в 8.5 (вказуючи на занадто лужне середовище), програмно активується віртуальний червоний світлодіод, що слугує чітким візуальним сигналом попередження оператора про потенційну небезпеку для стану віртуального водного середовища. Аналогічно, якщо віртуальна температура води опускається нижче граничного мінімального значення в 10°C або перевищує критичну максимальну позначку в 35°C, програмно активується віртуальний

синій світлодіод, інформуючи оператора про неприйнятні температурні умови, які можуть негативно вплинути на біологічні процеси у віртуальному водному середовищі. У випадку, коли обидва ключові параметри – рН та температура – знаходяться в межах попередньо заданих безпечних діапазонів, програмно активується віртуальний зелений світлодіод, який сигналізує про стабільний та нормальний режим функціонування віртуальної системи та відсутність будь-яких критичних відхилень контрольованих параметрів.

Усі поточні віртуальні значення вимірних параметрів – як оцифроване значення температури віртуальної води, так і розраховане на основі показань потенціометра значення рН – відображаються в режимі реального часу на віртуальному рідкокристалічному дисплеї (LCD), де також виводиться коротке, але інформативне текстове повідомлення, що відображає поточний стан віртуальної системи. Це текстове повідомлення може мати такі попередньо запрограмовані значення, як “OK” у випадку, коли всі контрольовані параметри знаходяться в межах заданих безпечних діапазонів, “Warning” у випадку наближення одного або обох параметрів до критичних меж, або “Danger” при виході одного або обох параметрів за встановлені безпечні діапазони, надаючи таким чином оператору миттєву візуальну інформацію про поточний стан контрольованого віртуального водного середовища та необхідність вжиття відповідних заходів.

Таким чином, розроблена детальна віртуальна схема в зручному середовищі Tinkercad повністю та наочно моделює основну логіку роботи майбутнього реального фізичного пристрою кіберфізичної системи моніторингу стану води, забезпечуючи ефективне візуальне та функціональне представлення всіх ключових етапів обробки первинної вхідної інформації та відповідної реакції системи на зміни контрольованих параметрів, що є цінним інструментом для подальшої, більш детальної розробки, оптимізації та всебічного тестування фізичного прототипу майбутньої реальної системи.

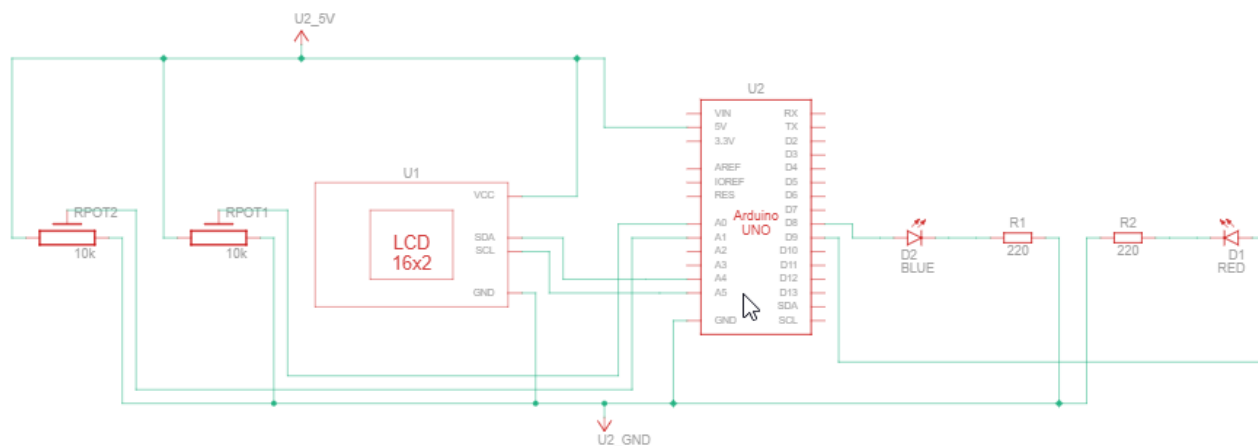


Рисунок 3.2 – Електричної схеми пристрою

3.5 Аналіз результатів симуляції та тестування

Результати, отримані в процесі детальної симуляції функціонування розробленої кіберфізичної системи моніторингу стану води у віртуальному середовищі Tinkercad, надали цінну можливість здійснити низку важливих спостережень та зробити обґрунтовані висновки щодо загальної працездатності, чутливості до змін контрольованих параметрів та стабільності роботи кожного окремого електронного компонента, а також ефективності їхньої інтеграції в єдину, злагоджено функціонуючу кіберфізичну систему.

Насамперед, проведена симуляція продемонструвала надійну здатність віртуальної системи до безперервного та стабільного збору первинних даних від віртуальних сенсорів. Зокрема, показники, що надходили з віртуального потенціометра, який у даній моделі імітував роботу реального рН-датчика, динамічно змінювалися у відповідь на віртуальне регулювання, і ці зміни значень з високою точністю відображалися в режимі реального часу на віртуальному рідкокристалічному дисплеї. Аналогічно, значення, що надходили з віртуального терморезистора, адекватно та динамічно реагували на штучно створювані зміни

його віртуального опору, що дозволило ефективно змодельовати температурні коливання водного середовища. Завдяки цим спостереженням можна з упевненістю стверджувати, що основний механізм зчитування аналогових сигналів у розробленому віртуальному проєкті реалізований коректно, без будь-яких помітних перешкод або затримок.

Візуальна індикація стану системи за допомогою віртуальних світлодіодів повністю підтвердила дієвість та адекватність запрограмованих умов реагування на виявлені зміни ключових параметрів – температури та рН. У випадку моделювання критичного відхилення значення температури або рівня рН від встановлених безпечних меж, відповідний віртуальний світлодіод миттєво змінював свій стан, вмикаючись та надаючи чіткий візуальний сигнал попередження, що безпосередньо вказувало на правильну обробку умовних операторів, закладених в програмному коді мікроконтролера. Ця функціональність є надзвичайно важливою з точки зору практичної реалізації майбутньої фізичної системи, оскільки своєчасна та надійна сигналізація про виникнення небезпечних умов є критично необхідною для забезпечення оперативного реагування на потенційні загрози.

Слід також окремо відзначити той факт, що в процесі всебічного віртуального тестування розробленої системи було проведено декілька ретельно спланованих симуляцій, що охоплювали широкий спектр різноманітних сценаріїв її потенційної роботи: нормальні умови функціонування, штучне порушення одного з контрольованих параметрів (температури або рН), а також одночасне порушення обох ключових параметрів. У кожному з цих змодельованих випадків віртуальна система продемонструвала очікувану та адекватну реакцію, що є яскравим свідченням її стійкості та здатності до одночасної обробки множинних вхідних сигналів без втрати стабільності та коректності функціонування.

Щодо загальної продуктивності та зручності використання віртуальної платформи Tinkercad, варто особливо підкреслити її беззаперечні переваги як інструменту для початкового етапу проектування складних електронних систем,

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що базуються на мікроконтролерах Arduino. Наявність великої бібліотеки готових до використання віртуальних електронних компонентів, інтуїтивно зрозумілий процес створення віртуальних електричних з'єднань між ними та можливість швидкої компіляції та перевірки програмного коду значно оптимізували та прискорили весь процес розробки віртуальної моделі досліджуваної кіберфізичної системи.

Крім того, віртуальний симулятор Tinkercad надає розробникам можливість не лише всебічно перевірити логіку роботи розробленої системи, але й отримати наочне графічне уявлення про фізичне розташування віртуальних електронних елементів у віртуальному просторі, що є надзвичайно важливим з точки зору подальшого успішного переходу до етапу створення реального фізичного прототипу системи, якщо в майбутньому буде прийнято відповідне рішення про його фізичну реалізацію. Таким чином, етап віртуального тестування у віртуальному середовищі Tinkercad є надзвичайно важливим та інформативним при розробці складних систем, орієнтованих на точне виявлення та аналіз змін різноманітних фізичних параметрів навколишнього середовища, таких як температура та хімічний склад водних екосистем.

Узагальнюючи результати проведеного детального аналізу віртуальної симуляції розробленої кіберфізичної системи моніторингу стану води, можна з впевненістю констатувати, що віртуальна система:

Ефективно та коректно здійснює зчитування та подальшу інтерпретацію даних, що надходять від віртуальних аналогових сенсорів. Забезпечує правильне та своєчасне відображення ключової інформації про стан контрольованих параметрів на віртуальному рідкокристалічному дисплеї. Надійно та оперативно сигналізує про вихід будь-якого з контрольованих параметрів за попередньо встановлені критичні межі за допомогою візуальних світлодіодних індикаторів. Має гнучку та масштабовану архітектуру, що потенційно дозволяє її подальше розширення в майбутньому шляхом віртуального підключення додаткових

віртуальних датчиків для моніторингу інших параметрів або віртуальних бездротових модулів для імітації передачі даних.

Усі ці позитивні результати свідчать про високу ефективність обраного підходу до моделювання складних кіберфізичних систем у віртуальному середовищі Tinkercad, що дозволяє закласти міцну та надійну архітектурну основу для майбутньої фізичної реалізації повнофункціональної кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища.

3.6. Висновки до розділу 3

У цьому розділі було проведено аналіз обраного методу реалізації апаратної складової розробленої кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища. В результаті дослідження було сформовано детальну апаратну структуру системи, яка включає в себе центральний керуючий мікроконтролер, різноманітні сенсори для збору даних про ключові параметри води, візуальні індикатори для оперативного сповіщення про зміни стану, а також модулі виводу інформації для відображення отриманих результатів. Кожен елемент цієї ретельно спроектованої апаратної архітектури був обґрунтований з точки зору його функціональної необхідності для виконання поставлених завдань, оптимальної енергоефективності для забезпечення тривалої автономної роботи, повної апаратної та програмної сумісності з іншими компонентами системи, а також практичної можливості ефективної реалізації та всебічного тестування у зручному віртуальному середовищі Tinkercad.

В процесі вибору центрального керуючого елемента було встановлено, що мікроконтролер Arduino UNO є найбільш доцільним та оптимальним варіантом для ефективного управління всіма функціональними модулями розробленої системи. Цей вибір був зумовлений його безперечною простотою у використанні, широкою підтримкою великої кількості різноманітних периферійних пристроїв та розвиненою екосистемою програмного забезпечення, що значно полегшує процес розробки та налагодження. Використані в віртуальній моделі аналогові датчики

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури та рН, хоча й були представлені у спрощеному вигляді потенціометрів для імітації їхньої основної функціональності в симуляційному середовищі Tinkercad, продемонстрували високу гнучкість у налаштуванні порогових значень для своєчасної сигналізації про виникнення критичних станів контрольованих параметрів.

Для забезпечення зручного та наочного виводу отриманих даних у режимі реального часу було успішно інтегровано LCD-дисплей з конфігурацією 16x2 символів. Цей модуль відображення є важливою складовою для ефективного візуального моніторингу поточного стану водного середовища. Розроблена система світлодіодної індикації дозволила оперативно та візуально ідентифікувати поточний стан навколишнього середовища без необхідності постійного спостереження за показаннями дисплея, забезпечуючи швидке реагування на критичні зміни.

Проведене всебічне тестування розробленої віртуальної моделі в середовищі Tinkercad продемонструвало високу надійність запрограмованої логіки роботи системи, її адекватну реакцію на штучно створені зміни зовнішніх умов, а також її потенційну готовність до подальшого функціонального розширення шляхом додавання нових сенсорів або інтеграції бездротових модулів для передачі даних, а також можливість її успішного перенесення в інші, більш складні фізичні або цифрові середовища моделювання для подальшої оптимізації та верифікації. Таким чином, на основі отриманих результатів можна з впевненістю стверджувати, що обраний та детально описаний метод реалізації апаратної частини розробленої кіберфізичної системи моніторингу стану води є повністю завершеним, високоефективним та готовим до практичного впровадження або подальшого активного дослідницького використання в умовах як лабораторних експериментів, так і реальних польових вимірювань.

					КьРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах виконаної дипломної роботи було здійснено комплексне та багатоаспектне дослідження, ключовою метою якого стала розробка, всебічне теоретичне обґрунтування та практична віртуальна реалізація кіберфізичної системи моніторингу стану водного середовища, з особливим акцентом на архітектуру її апаратної частини. Робота охоплює повний цикл інженерної розробки: від формування початкової концептуальної архітектури та вибору елементної бази до створення деталізованого віртуального макета у спеціалізованому середовищі моделювання. Пріоритетною увагою у цьому дослідженні було створення функціональної, економічно недорогої та легко відтворюваної апаратної платформи, яка могла б стати надійною та масштабованою основою для подальшого впровадження у стратегічно важливій сфері моніторингу навколишнього середовища, зокрема для контролю стану водних ресурсів, що є життєво необхідним для сталого розвитку. Розглянута тема має надзвичайну актуальність у сучасному світі, що динамічно розвивається, враховуючи глобальну та зростаючу потребу у постійному, автоматизованому та високоточному контролі гідрологічних, фізико-хімічних та біологічних параметрів водного середовища. Такий моніторинг є ключовим чинником у забезпеченні екологічної безпеки населення та екосистем, ефективному, раціональному та сталому управлінні водними ресурсами на всіх рівнях – від локального до національного, а також у своєчасному запобіганні надзвичайним ситуаціям, пов'язаним із небезпечним забрудненням або критичною зміною фізико-хімічного складу води. Саме тому було вирішено застосувати інноваційний підхід побудови кіберфізичної системи (КФС), яка поєднує фізичні компоненти вимірювальних пристроїв (сенсорів, мікроконтролерів, виконавчих механізмів) з потужними цифровими інструментами обробки, аналізу та інтерпретації великих обсягів даних, а також забезпечує їхню візуалізацію та передачу через мережеві інтерфейси. Цей синергетичний підхід дозволяє

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створювати розумні, адаптивні та автономні системи, здатні самостійно реагувати на зміни у фізичному світі. У роботі було успішно реалізовано повноцінну віртуальну модель пристрою на основі мікроконтролера Arduino Uno, який виступає центральним обчислювальним та керуючим елементом системи. Цей вибір обґрунтований його широкою популярністю, простотою програмування, доступністю великої кількості бібліотек та активною підтримкою спільноти розробників, що значно прискорює процес прототипування. Для симуляції фізичних процесів та взаємодії електронних компонентів було обрано інтерактивне онлайн-середовище Tinkercad. Це потужне віртуальне середовище дозволяє створювати, моделювати та тестувати складні електронні схеми, а також писати та налагоджувати програмний код для мікроконтролерів без необхідності використання реального фізичного апаратного забезпечення. Таке рішення надало змогу зосередитися на логіці функціонування пристрою, алгоритмах обробки даних та обґрунтувати вибір елементної бази без значних фінансових витрат та без ризику пошкодження дорогих компонентів на етапі експериментування. Моделювання в Tinkercad забезпечило швидкий цикл розробки та можливість багаторазового перевірки різних конфігурацій системи. Ключовими функціональними модулями віртуального пристрою стали віртуальні потенціометри, які у цій моделі майстерно імітують аналогові сигнали з датчиків кислотності (рН) та температури, що є основними параметрами для моніторингу якості води. Інформативний рідкокристалічний дисплей (LCD 16x2) з інтерфейсом I2C, який забезпечує зручне та ефективне виведення текстової та числової інформації, також є невід'ємною частиною віртуальної системи. Застосування I2C значно спрощує підключення дисплея до мікроконтролера, зменшуючи кількість необхідних з'єднань. У системі також активно застосовуються світлодіоди різних кольорів (червоний, синій, зелений) як візуальні індикатори перевищення встановлених порогів для контрольованих параметрів, що дозволяє оперативно оцінювати стан водного середовища. Підключення усіх компонентів здійснюється через віртуальну макетну плату

(breadboard), що дозволяє зручно організувати спільну шину живлення та забезпечити ефективну взаємодію між модулями без паяння. При цьому кожне з віртуальних підключень було детально проаналізовано та оптимізовано, що дозволяє точно розуміти схему під'єднання, уникати потенційних помилок у логіці взаємодії та оптимізувати використання наявних портів мікроконтролера для майбутньої масштабованості системи. Особливу, пріоритетну увагу у ході виконання дипломної роботи було приділено створенню програмної частини системи. Програмний код пристрою, написаний для мікроконтролера Arduino Uno, реалізує складний, але водночас ефективний алгоритм: безперервне зчитування аналогових значень із віртуальних потенціометрів, проведення базової обробки цих даних (наприклад, перетворення аналогових значень у відповідні показники рН та температури), визначення перевищення встановлених меж для кожного параметра та динамічне відображення отриманих результатів на віртуальному дисплеї. Результати роботи системи, отримані в ході симуляції, наочно демонструють її здатність оперативно реагувати на зміни значень параметрів, які симулюються потенціометрами, шляхом активації відповідних світлодіодів (зелений для нормального стану, червоний/синій для попередження) та оновлення інформації на екрані дисплея. Таким чином, успішно підтверджено, що запропоноване віртуальне рішення здатне виконувати базові функції моніторингу у реальному часі, що є фундаментальною вимогою до кіберфізичних систем. Проєкт довів високу доцільність використання платформи Tinkercad як ефективного навчального та дослідницького інструменту для проєктування кіберфізичних систем. Його функціонал дозволяє не тільки наочно демонструвати роботу електронних компонентів та їхню взаємодію, а й забезпечує швидку, ітеративну перевірку працездатності схеми та дозволяє виявити потенційні помилки та логічні недоліки ще до етапу дорогої та трудомісткої фізичної реалізації. Крім того, цей підхід відкриває нові можливості для тих дослідників, які не мають доступу до матеріальної бази або фізичних компонентів, але прагнуть активно працювати з системами Інтернету речей (IoT),

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизованими платформами та системами екологічного моніторингу. У процесі дослідження також були ретельно розглянуті обмеження поточної віртуальної системи, зокрема обмежена кількість цифрових та аналогових портів мікроконтролера Arduino Uno, необхідність оптимального використання шини живлення для всіх компонентів та правильного вибору номіналів резисторів для захисту світлодіодів від перегорання. Було також враховано потребу в масштабованості та гнучкості системи, що робить її придатною для подальшого вдосконалення та розширення функціоналу. У майбутньому систему можна значно доповнити реальними, високоточними сенсорами кислотності та температури, більш досконалыми модулями бездротової передачі даних (наприклад, LoRaWAN або NB-IoT для більшої дальності та енергоефективності), а також програмними засобами збереження та візуалізації інформації у хмарних базах даних та веб-інтерфейсах для віддаленого доступу та аналізу. Таким чином, результати виконаної дипломної роботи свідчать про успішне виконання всіх поставлених завдань. Було створено функціональну віртуальну апаратну платформу для системи моніторингу стану води, підтверджено її працездатність у середовищі симуляції Tinkercad, обґрунтовано вибір ключових технічних компонентів та їхню взаємодію, детально описано підходи до програмування та логіки взаємодії елементів, а також закладено міцну основу для майбутньої розробки повноцінної, автономної та розширюваної екологічної системи спостереження, здатної функціонувати в реальних умовах. Робота має як значну практичну, так і навчальну цінність, оскільки успішно поєднує інженерний підхід до моделювання та проектування з вирішенням актуальних проблем охорони довкілля, і може бути використана як зразок для подібних досліджень та розробок у галузі розумних систем моніторингу, Інтернету речей та автоматизації екологічного контролю.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Zhang K., Shi Y., Karnouskos S., Sauter T., Fang H., Colombo A. W. Advancements in industrial cyber-physical systems: An overview and perspectives. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2022. Vol. 19(1). P. 716–729.
2. Tyagi A. K., Sreenath N. Cyber physical systems: Analyses, challenges and possible solutions. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2021. Vol. 1. P. 22–33.
3. Jeffrey N., Tan Q., Villar J. R. A hybrid methodology for anomaly detection in Cyber-Physical Systems. *Neurocomputing*. 2024. Vol. 568. P. 127068.
4. Jiang Y., Wu S., Ma R., Liu M., Luo H., Kaynak O. Monitoring and defense of industrial cyber-physical systems under typical attacks: From a systems and control perspective. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*. 2023. Vol. 1. P. 192–207.
5. Hossain M. M., Kashem M. A., Nayan N. M., Chowdhury M. A. A Medical Cyber-physical system for predicting maternal health in developing countries using machine learning. *Healthcare Analytics*. 2024. Vol. 5. P. 100285.
6. Molato M. R. D. Aquastat: An arduino-based water quality monitoring device for fish kill prevention in tilapia aquaculture using fuzzy logic. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2022. Vol. 13(2).
7. Topping M., Kolok A. Assessing the accuracy of nitrate concentration data for water quality monitoring using visual and cell phone quantification methods. *Citizen Science: Theory and Practice*. 2021. Vol. 6(1).
8. Ardila A., Rodriguez M. J., Pelletier G. Spatiotemporal optimization of water quality degradation monitoring in water distribution systems supplied by surface sources: A chronological and critical review. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 337. P. 117734.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Yang H., Kong J., Hu H., Du Y., Gao M., Chen F. A review of remote sensing for water quality retrieval: Progress and challenges. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(8). P. 1770.

10. Uddin M. G., Nash S., Rahman A., Olbert A. I. A novel approach for estimating and predicting uncertainty in water quality index model using machine learning approaches. *Water Research*. 2023. Vol. 229. P. 119422.

11. Saha T., Del Caño R., Mahato K., De la Paz E., Chen C., Ding S., Yin L., Wang J. Wearable electrochemical glucose sensors in diabetes management: a comprehensive review. *Chemical Reviews*. 2023. Vol. 123(12). P. 7854–7889.

12. Kaidarova A., Geraldi N. R., Wilson R. P., Kosel J., Meekan M. G., Eguíluz V. M., Hussain M. M., Shamim A., Liao H., Srivastava M. et al. Wearable sensors for monitoring marine environments and their inhabitants. *Nature Biotechnology*. 2023. Vol. 41(9). P. 1208–1220.

13. Duan Z., Jiang Y., Tai H. Recent advances in humidity sensors for human body related humidity detection. *Journal of Materials Chemistry C*. 2021. Vol. 9(42). P. 14963–14980.

14. He Q., Wang B., Liang J., Liu J., Liang B., Li G., Long Y., Zhang G., Liu H. Research on the construction of portable electrochemical sensors for environmental compounds quality monitoring. *Materials Today Advances*. 2023. Vol. 17. P. 100340.

15. Shin Y.-H., Gutierrez-Wing M. T., Choi J.-W. Recent progress in portable fluorescence sensors. *Journal of The Electrochemical Society*. 2021. Vol. 168(1). P. 017502.

16. Li W.-D., Ke K., Jia J., Pu J.-H., Zhao X., Bao R.-Y., Liu Z.-Y., Bai L., Zhang K., Yang M.-B. et al. Recent advances in multiresponsive flexible sensors towards E-skin: a delicate design for versatile sensing. *Small*. 2022. Vol. 18(7). P. 2103734.

17. Lukman R., Fernando Y., Jayadi A. Perancangan Alat Pakan Bebek Otomatis Terjadwal Berbasis Arduino Uno Dengan Penjadwalan Android. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Perangkat Lunak (JATIKA)*. 2023. Vol. 4(1). P. 10–21.

					КвПКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Arrahman R. Rancang Bangun Pintu Gerbang Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3. *Jurnal Portal Data*. 2022. Vol. 2(2).
19. Kurniawan F., Surahman A. Sistem Keamanan Pada Perlintasan Kereta Api Menggunakan Sensor Infrared Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*. 2021. Vol. 2(1). P. 7–12.
20. Listyarini S., Warlina L., Sambas A. Air Quality Monitoring System in South Tangerang Based on Arduino Uno: From Analysis to Implementation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1115(1). P. 012046.
21. Chiluisa-Chiluisa M. A., Ramos L., Jacqueline Y., Velásquez Campo F. R. Tinkercad como herramienta estratégica en el proceso de aprendizaje significativo Tinkercad as a strategic tool in the meaningful learning process Tinkercad como ferramenta estratégica no.
22. Čermák R., Mašek V., Fait D. Teaching Mechatronics, Robotics and Automation with Arduino. *EDULEARN23 Proceedings*. 2023. P. 6497–6502.
23. Ballesta M., Flores M., Payá L., Reinoso O. New practical approach to circuit analysis in dual-mode teaching. *INTED2021 Proceedings*. 2021. P. 6067–6075.
24. Valiente D., Rodríguez-Mas F., Ortega A., Flores M., Ruiz A., Hortal A., Peidró A. Comparing circuit simulation tools in an inverted approach of the electronics laboratory at university. *INTED2025 Proceedings*. 2025. P. 304–304.
25. Jambor T. N. The use of simulation tools to reduce unhelpful preconceptions in electrical engineering education. *EDULEARN24 Proceedings*. 2024. P. 2997–3007.
26. Davison J., Moora M., Semchenko M., Adenan S. B., Ahmed T., Akhmetzhanova A. A., Alatalo J. M., Al-Quraishy S., Andriyanova E., Anslan S. et al. Temperature and pH define the realised niche space of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 2021. Vol. 231(2). P. 763–776.
27. Ejsmont A., Goscianska J. Hydrothermal synthesis of ZnO superstructures with controlled morphology via temperature and pH optimization. *Materials*. 2023. Vol. 16(4). P. 1641.

					КвПКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Fu D., Kurniawan T. A., Gui H., Li H., Feng S., Li Q., Wang Y. Role of Cu₂O-anchored pyrolyzed hydrochars on H₂O₂-activated degradation of tetracycline: Effects of pyrolysis temperature and pH. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2022. Vol. 61(25). P. 8847–8857.

29. Seres L., Csapó E., Varga N., Juhász Á. The Effect of Concentration, Temperature, and pH on the Formation of Hyaluronic Acid-Surfactant Nanohydrogels. *Gels*. 2023. Vol. 9(7). P. 529.

30. Cavole L. M., Limburg K. E., Gallo N. D., Salvanes A. G. V., Ramírez-Valdez A., Levin L. A., Oropeza O. A., Hertwig A., Liu M.-M., McKeegan K. D. Otoliths of marine fishes record evidence of low oxygen, temperature and pH conditions of deep Oxygen Minimum Zones. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2023. Vol. 191. P. 103941.

31. Asadi F. LCD and EEPROM. *Essentials of Arduino™ Boards Programming: Step-by-Step Guide to Master Arduino Boards Hardware and Software*. Springer, 2023. P. 161–177.

32. Sarker R., Ahmad A., Teja A. V. R., Payami S. Series Connected Cell Monitoring System of Li-ion Battery with I2C and Cloud Interfacing. *IECON 2024-50th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2024. P. 1–6.

33. Subero A. USART, SPI, I2C, and Communication Protocols. *Programming PIC Microcontrollers with XC8: Mastering Classical Embedded Design*. Springer, 2024. P. 297–366.

34. Kalaivani K., Subramanian S., Swedha G. K. S., Vinoth N., Priya V. V. Air Monitoring with Cloud and IoT. *2023 International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*. IEEE, 2023. P. 1027–1031.

35. Dickinson Hidalgo M. Design of an electricity meter with a display : B.S. thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, 2024.

36. Sol J., Smith D. R., Del Hougne P. Meta-programmable analog differentiator. *Nature Communications*. 2022. Vol. 13(1). P. 1713.

					КвПКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Safari M. M., Pourroostam J., Mousavi S. H. A novel ADC-less analog demodulation scheme for NR-STAR-MQAM constellations. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*. 2022. Vol. 144. P. 154034.

38. Wang L., Liu W., Yan Z., Wang F., Wang X. Stretchable and shape-adaptable triboelectric nanogenerator based on biocompatible liquid electrolyte for biomechanical energy harvesting and wearable human-machine interaction. *Advanced Functional Materials*. 2021. Vol. 31(7). P. 2007221.

39. Bhatia D., Paul S., Acharjee T., Ramachairy S. S. Biosensors and their widespread impact on human health. *Sensors International*. 2024. Vol. 5. P. 100257.

40. Hung J.-M., Huang Y.-H., Huang S.-P., Chang F.-C., Wen T.-H., Su C.-I., Khwa W.-S., Lo C.-C., Liu R.-S., Hsieh C.-C. et al. An 8-Mb DC-current-free binary-to-8b precision ReRAM nonvolatile computing-in-memory macro using time-space-readout with 1286.4-21.6 TOPS/W for edge-AI devices. *2022 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*. IEEE, 2022. Vol. 65. P. 1–3.

41. Song J., Si P., Hua H., Qiu M. Research on the inherent nonlinearity calibration of the potentiometer of a miniature linear series elastic actuator. *Actuators*. MDPI, 2022. Vol. 11(8). P. 207.

42. Rohini M., Rahul A., Rithik A., Steve John D. Iot based smart car parking system with the help of sensors networks. *2023 Third International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*. IEEE, 2023. P. 57–60.

43. Küçükdermenci S. Multifunctional Smart Glove: An Innovative Solution for Sign Language Interpretation and Wireless Wheelchair Control. *3rd International Conference on Frontiers in Academic Research ICFAR*. 2024. Vol. 2024.

44. Yamashita T., Suzuki H., Tasaki R. Motion and force measurement of human fingertips during manual operation to achieve high-precision assembly by articulated robots. *Measurement: Sensors*. 2022. Vol. 24. P. 100413.

45. Alzubaidi M. A., Ootom M., Abu Rwaq A. M. A novel assistive glove to convert arabic sign language into speech. *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*. 2023. Vol. 22(2). P. 1–16.

46. Talib M. A., Majzoub S., Nasir Q., Jamal D. A systematic literature review on hardware implementation of artificial intelligence algorithms. *The Journal of Supercomputing*. 2021. Vol. 77(2). P. 1897–1938.

47. Zhao Y., Pan S., Ma H., Gao Y., Song X., He J., Jin Y. Side channel security oriented evaluation and protection on hardware implementations of kyber. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2023. Vol. 70(12). P. 5025–5035.

48. Gao S., Iu H. H.-C., Erkan U., Şimşek C., Mou J., Toktas A., Wu R., Tang X. Design, dynamical analysis, and hardware implementation of a novel memcapacitive hyperchaotic logistic map. *IEEE Internet of Things Journal*. 2024.

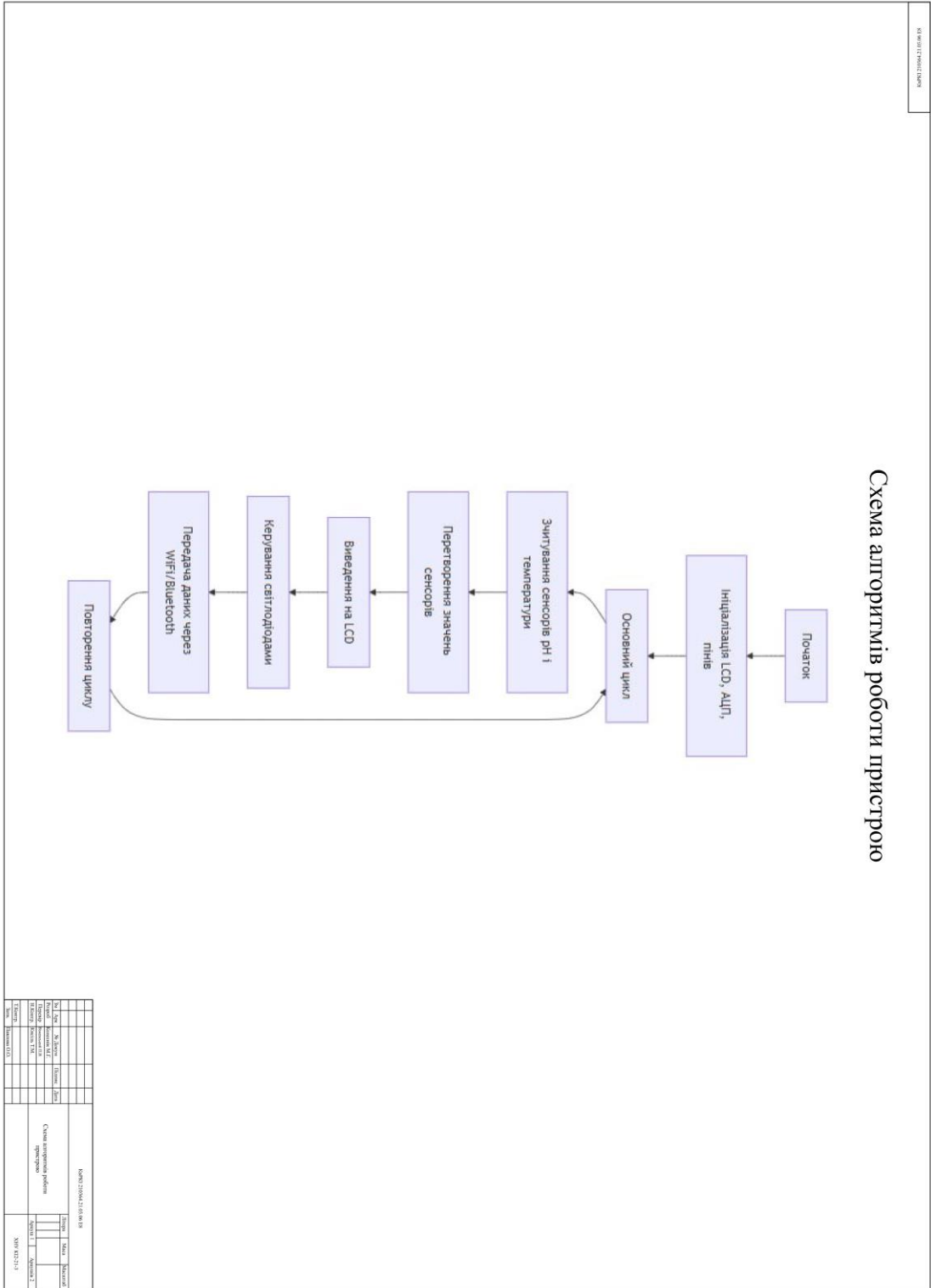
49. Li H., Lin X., Lu Y., Wang M., Cheng H. Pilot study of contactless sleep apnea detection based on snore signals with hardware implementation. *Physiological Measurement*. 2023. Vol. 44(8). P. 085003.

50. Patil S. S., Patil A. J., Singh A., Patil M. A., Jarial R. K. Hardware Implementation of a Smart Technique Five Level Inverter Based STATCOM to Mitigate Power Quality Issues. *2021 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)*. IEEE, 2021. P. 1–6.

					КвРКІ 210364.21.03.06 ПЗ	Арк. 70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

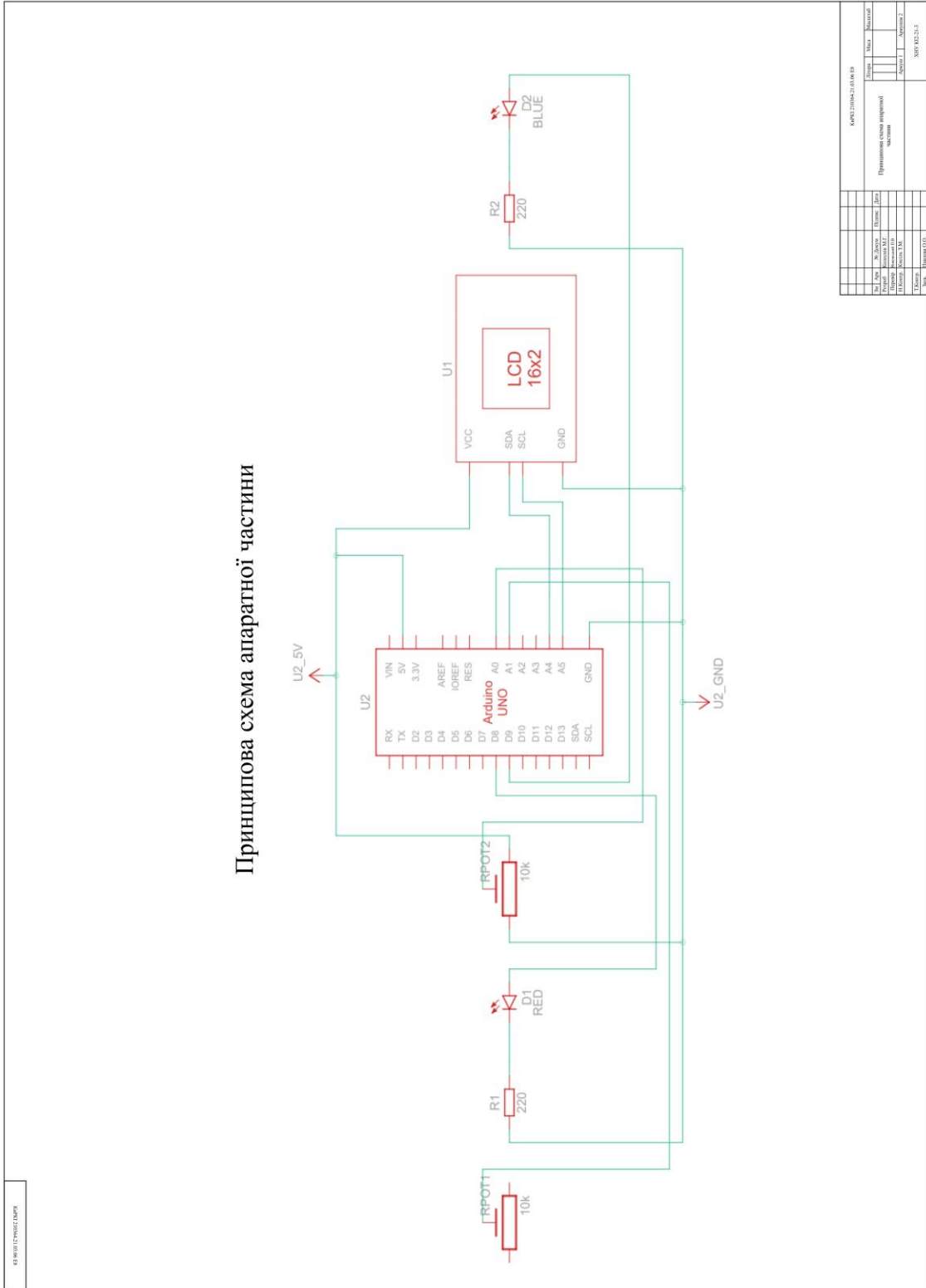
Додаток Б
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ»



Додаток В
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПРИНЦИПОВА СХЕМА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ»



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: Максим КОЛЕСНИК

Співавтор:

Назва: Колеснік_Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 5.3%

Коефіцієнт подібності 2: 2.9%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-10 23:23:29.0

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 процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-11

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Максим КОЛЕСНИК

Тема: Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка апаратної частини системи, здатної в автоматичному режимі та в реальному часі здійснювати контроль за якістю води.

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: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області та теоретичних основ досліджуваної проблеми. В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проєктування апаратної частини кіберфізичної системи моніторингу стану води. В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано програмно-апаратну реалізацію кіберфізичної системи моніторингу стану води.

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи:

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 високому інженерно-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4.25/В)

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

Георгій Шенюк, Василь Васильович Шенюк, доцент
фрілософії, координатор кібербезпеки
" " _____ 2025 р. _____ (підпис)

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 9.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 8%

ID: 244751 Title: БКР Кіберфізична система моніторингу стану води. Апаратна частина Added in a DB: 2025-06-10 Authors: Максим КОЛЕСНИК Heads: Петро ВІЖЕВСЬКИЙ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	121844	449	12023 (10%)	46 (10%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

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

Колесніка Максима

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-3

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.

11.06.2025 року



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 моніторингу стану води. Апаратна частина

Автор: Максим КОЛЕСНИК

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Петро ВІЖЕВСЬКИЙ, асистент

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 укриття 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:

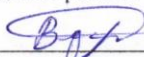

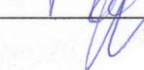
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 5.26% і адресується до 45 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 9%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Петро ВІЖЕВСЬКИЙ

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА