

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Белей К.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тини Є.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Белея Костянтина Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Побудова апаратної частини

3. Програмна реалізація

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму системи

4. Результат роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М.І. д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання.</i>	<i>27.01–02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>03.02–12.03</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Розробка та побудова апаратної частини</i>	<i>13.03–12.04</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Розробка та створення програмної частини</i>	<i>13.04–25.04</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>26.04–14.05</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>15.05–08.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>09.06 –15.06.</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 –22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>23.06.2025</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)*Белей К.В.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Тили Є.В.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Белей К.В. Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: мікроконтролер, моніторинг, поверхневі води, веб-сайт, сервер, база даних.

У роботі розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу якості поверхневих вод, що дозволяє автоматично вимірювати ключові параметри води в реальному часі. Попередньо проаналізовано існуючі рішення цієї проблеми, а також обрано параметри для подальшого моніторингу: температуру, кислотність, мутність та загальний вміст розчинених речовин.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою. Головним елементом системи є мікроконтролер ESP32 DevKitCv4. Для зчитування параметрів води використовуються відповідні датчики, а для фіксації часу – годинник реального часу. Пристрій живиться від сонячної панелі та акумулятора з підключенням через контролер заряду та стабілізатори напруги.

Наступним етапом було розроблено алгоритми роботи всіх елементів системи та побудовано відповідні блок-схеми. Розроблено функціонуюче програмне забезпечення для мікроконтролера. Окремо створено серверний застосунок на основі NestJS із використанням бази даних PostgreSQL для обробки та зберігання отриманих даних. Клієнтський веб-сайт, розроблений з використанням Next.js, забезпечує вільний доступ до інформації завдяки візуалізації даних.

ANNOTATION

Belei K.V. Computerized surface water quality monitoring system: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: microcontroller, monitoring, surface water, website, server, database.

In this work, a computerized system for monitoring surface water quality has been developed that allows for automatic measurement of key water parameters in real time. Existing solutions to this problem have been preliminarily analyzed, and the parameters for further monitoring have been selected: temperature, pH, turbidity, and total dissolved solids.

The structural and electrical schematic diagrams of the device were developed. The main element of the system is the ESP32 DevKitCv4 microcontroller. To read the water parameters, appropriate sensors are used, and a real-time clock is used to record the time. The device is powered by a solar panel and a battery connected via a charge controller and voltage stabilizers.

The next step was to develop algorithms for the operation of all system elements and build the corresponding block diagrams. Functioning software for the microcontroller was developed. A separate server application based on NestJS was created using the PostgreSQL database to process and store the received data. A client website developed using Next.js provides free access to information through data visualization.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
1.1 Проблематика моніторингу якості поверхневих вод	9
1.2 Аналіз існуючих рішень	11
1.3 Функціональні та нефункціональні вимоги системи моніторингу	13
1.4 Вибір технологій та параметрів для моніторингу.....	14
1.5 Загальна архітектура системи моніторингу.....	16
2 ПОБУДОВА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	18
2.1 Структурна схема системи моніторингу.....	18
2.2 Вибір платформи мікроконтролера	20
2.3 Вибір датчиків та елементів системи моніторингу	23
2.4 Оцінка енергоспоживання та вибір джерела живлення	29
2.5 Електрична принципова схема	32
2.6 Шини та протоколи обміну даними	36
2.7 Захист системи від зовнішніх впливів та програмних збоїв.....	37
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	38
3.1 Алгоритм роботи системи моніторингу.....	38
3.2 Робота пристрою, обробка та передача даних	40
3.3 Робота серверної частини	44
3.3.1 Розробка бази даних.....	45
3.3.2 Розробка серверної програми.....	46
3.4 Клієнтська частина системи моніторингу	49
3.4.1 Головна сторінка	50
3.4.2 Сторінка історії.....	56

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Белей К.В.								
Перевірів		Тиш Є.В.							5	
Рецензент								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.		Луцик Н.С.								
Затвердив		Осуківська Г.М.								

3.4.3 Сторінка інформації	59
3.4.3 Огляд клієнтської програми	62
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	64
4.1 Оцінка технологічного процесу, щодо умов електробезпеки, безпеки	64
4.2 Загальні вимоги безпеки до обладнання та технологічних процесів	66
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Блок-схема алгоритму програми системи моніторингу	
Додаток В Перелік елементів	

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

TDS – Total Dissolved Solids;

JSON – JavaScript Object Notation;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

GPIO – General-purpose Input/Output;

HTTP – Hypertext Transfer Protocol;

API - Application programming interface;

REST - Representational State Transfer;

RTC – Real Time Clock.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Якість поверхневих вод є одним із ключових індикаторів стану навколишнього середовища, що напряду впливає на здоров'я людей та стабільність водних екосистем. Існуючі методи контролю переважно полягають у ручному зборі проб води та їх подальшому лабораторному аналізі, це робить їх дорогими та не оперативними. Затримка між збором та результатом унеможливорює швидке реагування на випадки погіршення стану води, що робить задачу розробки сучасних автоматизованих систем моніторингу надзвичайно актуальною.

Впровадження системи для моніторингу якості поверхневих вод відкриє доступ до даних про стан водних ресурсів для усіх охочих. Водні ресурси широко застосовуються, від рекреації й відпочинку до сільського господарства й промисловості. Завдяки відкритому доступу до веб-сайту – люди зможуть вільно переглядати показники якості води перед її використанням, що робить можливим моніторинг параметрів води в режимі реального, або близького до цього часу.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комплексної комп'ютеризованої системи, здатної автоматично збирати, обробляти та візуалізувати дані про ключові показники якості води. Робота передбачає проведення аналізу існуючих рішень для обґрунтування архітектури майбутньої системи, та розробки програмного забезпечення. Також необхідно розглянути питання безпеки життєдіяльності при роботі з системою.

Розроблена система повинна складатись із трьох основних елементів: автономного моніторингового пристрою, сервера із базою даних та клієнтського веб-сайту. Кожен етап розробки повинен враховувати сучасні розробки й технології, та базуватись на сучасних принципах у розробці апаратного та програмного забезпечення. Саме тому основою для вимірювального пристрою повинен слугувати мікроконтролер, сервер повинен функціонувати віддалено, а веб-сайт бути зручним, простим та інтерактивним.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Проблематика моніторингу якості поверхневих вод

Моніторинг якості поверхневих вод є ключовим чинником збереження здоров'я населення та стабільності екосистеми. Вода це найдорогоцінніший ресурс Землі, завдяки ній існує усе живе на нашій планеті. Забруднення водою негативно впливає як на водні організми, так і на людей, які використовують ці ресурси. У водоймах мешкає багато різноманітних рослин і тварин, тому забруднення їх середовища безпосередньо впливає на їхнє здоров'я та життя. Чистота води також має велике значення для промисловості, сільського господарства, побутового використання та рекреації. Саме тому своєчасне і точне відстеження ключових показників води є надзвичайно важливим.

Основними причинами забруднення водою є промислові стоки, сільськогосподарські викиди та побутові відходи. Люди часто нехтують екологією зливаючи різного типу відходи у водойми, що може призвести до невідворотних наслідків. Вчасне виявлення змін параметрів води допомагає запобігти промисловим аваріям і екологічним катастрофам.

Через відсутність нагляду за чистотою води може виникати ряд проблем, починаючи з ризиків для здоров'я людей при використанні води в той чи інший спосіб й закінчуючи деградацією і шкодою для екосистем у водоймах [2]. Попадання у воду певних відходів, випадіння великої кількості опадів чи інші чинники негативно і різко впливають на чистоту і якість води. На даний момент відсутня можливість швидко реагувати за зміни параметрів у водоймах, що збільшує ризики негативних наслідків.

Традиційні методи контролю якості поверхневих вод не забезпечують достатньої оперативності та доступності для населення [3].

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Белей К.В.			Аналіз технічного завдання			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		Тиш Є.В.								9	
Рецензент											
Н. Контр.		Луцик Н.С.									
Затвердив		Осуківська Г.М.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			

Зазвичай такі методи передбачають відбір проб у різних точках водойми та подальший лабораторний аналіз, що є затратним за часом і ресурсами. Хоча подібні способи забезпечують високу точність вимірів, через їхню складність та вартість частота застосування є недостатньою. Саме внаслідок цього забруднення водойм часто ігноруються людьми, що створює ризики для екосистем та здоров'я населення. Тому виникає потреба у створенні доступних та автоматизованих систем моніторингу, здатних надавати актуальну інформацію про стан води в режимі реального часу.

Системи автоматизованого моніторингу якості води можуть допомогти вирішити низку проблем [4]. Вони надають доступ до переліку параметрів води широкому загалу, що дозволяє звичайним людям отримувати актуальні дані про стан водойм. Такі системи можна розмістити одразу в кількох точках, що підвищує точність та відкриває можливість порівняння і виявлення локальних проблем на великих водоймах. Частоту вимірювання також легко налаштувати, де кожную точку можна конфігурувати окремо, в залежності від потреб. Все це дозволяє комп'ютеризованим моніторинговим системам надавати дані для всіх груп населення в реальному або наближеному до нього часі.

Завдяки тому, що моніторинг виконується комп'ютеризованою системою, дані легко зберігати, обробляти та візуалізувати [5]. Це дуже корисно, адже дає змогу будувати статистику, прогнозувати стан водойм та аналізувати вплив різних погодних чи інших факторів. Оскільки дані зберігаються у базі на віддаленому сервері, стає можливим створення єдиного ресурсу доступу до візуалізованої інформації, наприклад, у вигляді веб-сайту. Будь хто може переглянути актуальну інформацію на водоймі, це корисно і для дрібного сільського господарства, і для звичайних людей, і місцевого самоврядування.

Останнім часом розвиток інтернету речей дав змогу створювати компактні та енергоефективні системи з великою кількістю датчиків, що спрощує реалізацію таких моніторингових систем в реальних умовах [6, 7]. Що дозволяє легко розмістити точки моніторингу, наприклад у зоні відпочинку біля водойми, може надавати інформацію про температуру, та інші параметри, що дає змогу

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

місцевим жителям швидко оцінити якість води та комфорт і безпеку для купання. Також, частий аналіз й довготривале зберігання даних у таких системах дає змогу виявляти поступові зміни у стані води, які складно помітити за допомогою разових замірів.

1.2 Аналіз існуючих рішень

На сьогоднішній день існує дуже мало готових рішень для моніторингу якості поверхневих вод, тим паче, в Україні. У більшості випадків якість води перевіряється вручну працівниками лабораторій [3]. Для цього вони збирають проби у різних точках водойми, які потім аналізують у лабораторіях. Цей підхід надає велику точність та широкий спектр вимірюваних параметрів, але в нього є чимало недоліків. Щоб зібрати проби, а потім провести лабораторний аналіз необхідно багато часу, спеціальне обладнання та кваліфікований персонал [4]. Також кожен замір і аналіз вартує чимало грошей, а доступ до результатів мають далеко не всі – більшості людей він не доступний, або надається уже із запізненням.

У великих містах, або на великих і часто відвідуваних пляжах результати лабораторних аналізів можуть публікуватися онлайн, або на інформаційних стендах [3]. Проте це трапляється вкрай не часто й переважно лише у літній сезон, й далеко не всі здогадуються про ці публікації. У менших населених пунктах, або невеликих водоймах чи пляжах моніторинг стану води, часто, або проводиться дуже рідко, або взагалі не проводиться. Люди користуючись водоймами навіть не здогадуються про реальний стан води, що в певних випадках, може нести навіть шкоду здоров'ю чи самопочуттю людей.

За межами України автоматизовані рішення для слідкування за якістю води трапляються частіше, й з кожним роком їх стає дедалі більше. Вони дозволяють отримувати рівень певних параметрів у реальному часу, такі системи переважно мають високу точність. Вони підтримують підключення багатьох датчиків, мають різноманітні захисти для роботи у складних умовах та

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

передають дані через бездротові канали. Та такі системи є дуже дорогими, складними у використанні та орієнтованими на промислове або наукове використання.

Також існують простіші проєкти, що створені ентузіастами. Вони базуються на мікроконтролерах типу Arduino або ESP та дешевих сенсорах, вони дозволяють вимірювати базові параметри, проте не мають зручного інтерфейсу для візуалізації даних й мають ряд інших проблем, що не дає змоги використання широким групам населення.

Проєктів автоматичного моніторингу води в реальному часі з доступом через інтернет практично немає. Якщо і знайти такі ініціативи, то вони переважно є частинами більших екологічних програм й не мають відкритих платформ для звичайних користувачів. Прикладом є комерційна платформа KETOS, яка добре працює з власними сенсорами компанії, але складно інтегрується з дешевшими або саморобними пристроями. Її код закритий, і вона вимагає підписки, що обмежує гнучкість для невеликих проєктів. Іншим прикладом реальної системи є WaterSuite, вона орієнтована на великі компанії або муніципальні служби. Її можливості широкі, але використання вимагає спеціального обладнання, стабільного зв'язку й професійного налаштування, що є надто складним і дорогим варіантом. Ще однією системою моніторингу є Envirosuite, яка має сильну візуалізацію й аналітику, але система замкнена і потребує повної інтеграції з їхньою інфраструктурою. Для використання потрібен досвід або навчання, що обмежує її доступність для студентів або ентузіастів.

Через це виникає потреба у створенні доступного, енергоефективного й відкритого для звичайних людей рішення, що дозволить легко налаштувати й встановити систему й передавати дані. Така система збиратиме інформацію про стан води з певним інтервалом, передаватиме її на сервер, де вона пройде опрацювання й буде відображена і візуалізована на зручному сайті.

Така система допоможе зробити моніторинг води зрозумілим та доступним для будь-кого, починаючи з ентузіастів, науковців і працівників водного

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

господарства до звичайних людей, які просто хочуть дізнатися, чи безпечно купатись або використовувати воду біля свого міста. Завдяки цьому люди матимуть змогу планувати своє використання води, слідкувати за змінами параметрів водного середовища, а також вести статистику, проводити математичний аналіз, передбачати майбутні значення, виявляти та прогнозувати аномалії.

1.3 Функціональні та нефункціональні вимоги системи моніторингу

Для побудови такої системи необхідно визначитись із її функціональними та нефункціональними вимогами [5]. Для цього потрібно описати що повинна робити система, тобто її функціонал на всіх етапах роботи. Головна мета комп'ютеризованої системи моніторингу води – це збір, передача та відображення даних про якість води. В системі повинні бути передбачені можливості для вимірювання базових обраних параметрів води, передача цих даних на сервер та збереження цієї інформації у базі даних [6, 8].

Збережену інформацію система повинна опрацювати й після чого передати на клієнтську частину, тобто – веб сайт. На сайті повинна відображатись остання актуальна інформація із графіками зміни, картою з точками збору та можливістю перегляду певної статистики.

Також на веб сайті повинна бути можливість перегляду історії даних, по днях, або по годинах, окрім цього показувати аномальні показники, графіки та статистику щодо архівних даних. Веб сайт повинен бути доступним для перегляду, як на телефоні, так і на комп'ютері.

Нефункціональні вимоги описують те, якою повинна бути система з огляду на зручність, швидкість, простоту, стабільність, доступність тощо. Описуючи такі вимоги, система моніторингу якості води повинна оновлювати дані, щонайменше, раз на годину, працювати стабільно протягом тривалого часу та можливість довгої автономної роботи без втручання. Сервер та база даних

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

повинні працювати без помилок й витримувати підключення й одночасну передачу даних із багатьох точок.

При втраті з'єднання із сервером система повинна автоматично відновлювати з'єднання, або за неможливості тимчасово зберігати останні дані. Код програми системи повинен бути структурований і масштабований для майбутніх допрацювань, або розширень, як системи, так і веб сайту. Веб сайт в свою чергу повинен бути інтуїтивно зрозумілим для звичайних користувачів, бути зручним у використанні, а також мати високу швидкодію та час реакції на дії користувача. Окрім того інтерфейс повинен працювати швидко на будь яких пристроях, а на сайті повинен бути блок, або сторінка відведені під опис проекту та пояснення роботи системи та показників що збираються.

1.4 Вибір технологій та параметрів для моніторингу

Для максимально можливої ефективності та доступності системи, потрібно визначити, які саме параметри води найбільше впливають на її якість, та простоту датчиків для їх вимірювання [3, 4]. Насправді, перелік параметрів які напряду впливають на якість води доволі обширний, та більшість із них є дуже дорогими у вимірюванні, або просто не так часто змінюються, або є доволі нішевими. Для прикладу, вміст розчиненого кисню у воді, він напряду впливає на життя водних організмів, чи вміст бактерій, який негативно впливає на здоров'я людей, та всі вони змінюються дуже рідко, й далеко не у всіх водоймах. Для їх вимірювання простіше використовувати лабораторний метод з певним інтервалом часу, що дозволить виявити наявність шкідливих мікроорганізмів чи речовин у воді. Тому для системи моніторингу поверхневих вод потрібно обрати параметри, які часто змінюються, легко вимірюються й напряду впливають на якість води.

До переліку основних параметрів можна віднести температуру води, рівень кислотності, електропровідність та мутність. Ці параметри мають великий вплив на загальну якість води, адже при простій зміні погодних умов, всі вони

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

змінюються в тому чи іншому напрямку. Також сенсори для замірів цих параметрів є доступними й простими у використанні та обслуговуванні, що також є ключовими задачами системи. Ці значення дозволяють зрозуміти загальний стан водойми, а також виявляти зміни, які можуть бути шкідливими для живих організмів або людей.

Наприклад, температура води визначає, чи придатна вода для купання, а також, при високих значеннях, вона впливає на кількість розчиненого кисню, що погано для риб та інших істот. Кислотність води показує рівень рН у воді, занадто великі, або низькі значення негативно впливають на живі організми й здоров'я людей. Параметр електропровідності, ще часто називають вмістом розчинених солей або схожих домішок у воді, дає уявлення про наявність і кількість таких речовин у воді. Мутність ж напряду вказує на кількість дрібних домішок, таких як бруд, чи мікроскопічні водорості у воді, при високих показниках вода вважається забрудненою й дуже не рекомендується для використання у будь-яких цілях, тим-паче – при купанні. Ці параметри чітко дають зрозуміти загальний стан та чистоту води, що дає можливість реагувати на їх зміну.

Для збору даних про ці параметри найкраще підходять автоматизовані системи, що мають можливість самостійно передавати інформацію на сервер для подальшої обробки [7, 8]. Важливо, щоб такі системи були енергоефективними та частково автономними, стабільно працювали за будь яких умов, та могли змогу зберігати та надсилати дані навіть з віддалених місць. Передача даних має відбуватись наприклад, через Wi-Fi або мобільну мережу. Це дозволить легко опрацьовувати зібрані дані, зберігати їх, а також відображати онлайн на веб сайті у вигляді графіків, таблиць та мап із зібраною інформацією по усіх точках.

Для побудови такої системи необхідними частинами є: мікроконтролер, який є серединою системи, відповідні датчики, модуль для забезпечення можливості бездротової передачі даних, сервер із базою даних для збереження та опрацювання, а також клієнтська частина із візуалізацією зібраної інформації в реальному часі, та переглядом історії. Це дозволяє ефективно й недорого

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

встановлювати такі системи, та об'єднувати їх в єдину мережу, окрім того весь її функціонал доступний в одному єдиному й зручному місці для будь яких користувачів.

1.5 Загальна архітектура системи моніторингу

Система моніторингу якості поверхневих вод складається із кількох основних частин, які функціонально поділені для максимальної ефективності та автономності. При виході із ладу однієї ланки системи, інші частини продовжують функціонування, й можна легко виправити усі несправності. Кожна із цих частин виконує свою функцію, їх основною метою є збір параметрів із різних точок та водойм, передача цієї інформації на сервер, зберігання у базі даних, обробка та візуалізація даних для користувача на веб сайті.

Для вимірювання визначених параметрів води використовуються сенсори, що підключені до мікроконтролера. Він отримує значення із датчиків, формує структуру даних та передає їх на сервер. Всі зібрані дані за необхідності фільтруються й формуються в певний формат даних для подальшого відправлення на сервер. Для цієї передачі мікроконтролер використовує модуль для бездротового підключення, що дозволяє розміщувати пристрої у віддалених точках водойм, без необхідності підключення мережових кабелів.

Отримані дані передаються на віддалений сервер, наприклад, хмару, де зберігаються у базі даних у вигляді таблиць із записами. На сервері дані обробляються й формується повноцінна структура у базі даних, після чого передається на клієнтську частину – веб сайт. Онлайн інтерфейс розроблений таким чином, щоб користувач міг зручно переглядати параметри води у вибраній точці, бачити історію змін, графіки та інші види візуалізації. На веб сайті розміщена інформація із усіх точок зчитування, які об'єднані в одну мережу, а також уся необхідна інформація про функціонування системи, опис параметрів води що зчитуються та перелік використаних технологій у процесі розробки.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Уся система є цілісною й працює чітко й поступово, від моменту зчитування водних показників до їх відображення кінцевому користувачеві на сайті. Такий підхід дозволяє зробити моніторинг доступним і зручним для широкого кола користувачів, а також є простим у підтримці та розширені. За наявної необхідності систему можна легко розширити додавши інші сенсори, або створивши нові види візуалізації чи опрацювання даних. Все це є дуже важливими параметрами і чинниками при розробці й побудові такої системи.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПОБУДОВА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

2.1 Структурна схема системи моніторингу

Комп'ютеризована система моніторингу якості води складається із декількох основних частин, які в сукупності дозволяють зчитувати, обробляти та передавати дані. Для спрощення побудови реальної системи, для кращого розуміння роботи та зв'язків між елементами варто побудувати структурну схему системи. Така схема дозволяє побачити нарис готової системи, принцип її функціонування й загалом допомагає при побудові системи виступаючи планом. Структурна схема системи моніторингу якості води показує всі етапи роботи системи, такі як передача інформації, забезпечення живлення та інші.

Головним компонентом системи є мікроконтролер, який виступає центром системи, поєднуючи всі компоненти в єдину робочу структуру. Мікроконтролер збирає сигнали, що надходять із підключених в систему датчиків, обробляє ці дані й передає їх наступним ланкам системи. Система налічує чотири сенсори для збору даних, а саме: датчик вимірювання температури води, її кислотності, мутності, а також електропровідності. За потреби, отримані сигнали оцифровуються й фільтруються на мікроконтролері, після чого вони переходять до наступного етапу.

Для живлення системи використовується сонячна панель, для забезпечення живлення, та акумуляторна батарея для зберігання заряду. Оскільки система працює не постійно й загалом має високу енергоефективність цього цілком достатньо для її повноцінного функціонування. Більше того, наявність акумулятора дозволяє системі накопичувати заряд й працювати автономно тривалі періоди часу. Це особливо важливо при роботі системи у холодні пори року, або за необхідності в темні години доби, коли потрапляння

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Побудова апаратної частини системи моніторингу		
Розробив		Белей К.В.					
Перевірив		Тиш Є.В.					
Рецензент							
Н. Контр.		Луцик Н.С.					
Затвердив		Осухівська Г.М.					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						18	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

сонячних променів на панель обмежено. Для забезпечення довговічності й правильності роботи акумулятора в системі передбачено контролер живлення. Акумулятор в свою чергу передає накопичений заряд до усіх елементів системи: мікроконтролера, датчиків та інших модулів.

Для передачі даних використовується модуль бездротового зв'язку, який може бути вбудованим у мікроконтролер, або функціонально виділеним як окремий елемент. Завдяки ньому отримані дані надсилаються на сервер для подальшої обробки, зберігання й відображення. Теоретично такий модуль також може бути використаний і для дистанційного налаштування, корегування та перевірки стану системи, без фізичного втручання. Це також дозволяє вчасно реагувати на фізичні несправності, наприклад, забруднення сонячної панелі, або на необхідність очистки датчиків. Завдяки такому елементу система стає частиною великої кількості таких приладів, будуючи велику мережу об'єднану в одну систему.

При наявних проблемах із модулем бездротової передачі даних, або відсутності стабільного підключення, а також для резервного зберігання система оснащена постійною пам'яттю. Це може бути вбудована пам'ять у мікроконтролер, або якщо такої немає, або її недостатньо, вона може бути представлена зовнішнім модулем. Завдяки цьому, навіть при втраті з'єднання із сервером і за неможливості передачі даних бездротовим методом, пам'ять дозволяє резервно зберігати й після відновлення з'єднання передавати всі дані на сервер.

Всі компоненти системи мають тісні зв'язки, коли сенсори зчитують дані - вони передають їх на мікроконтролер, який обробляє їх і передає на модуль бездротової передачі, який в свою чергу надає ці дані на сервер. На сервері всі дані зберігаються й відображаються користувачеві. Всю систему живить окремий ланцюг, який забезпечує подачу енергії на всі компоненти.

Завдяки побудованій структурній схемі є змога зрозуміти логіку побудови пристрою та його функціонування. Вона допомагає на етапі розробки,

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

налагодження, та за необхідності подальшого вдосконалення, або навіть розширення.

2.2 Вибір платформи мікроконтролера

Для побудови системи моніторингу якості поверхневих вод було обрано мікроконтролер ESP32 DevKitC v4 на базі чипа ESP32-WROOM-32E. Даний мікроконтролер вирізняється комплексом переваг на фоні інших схожих мікроконтролерів. Він забезпечує надійну роботу пристрою в умовах обмеженого енергоспоживання, закриває потреби у бездротовій передачі даних, а також необхідності зчитування аналогових сигналів з декількох сенсорів [9]. Ключова перевага ESP32 над аналогами – наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє реалізувати бездротову передачу даних без додаткових компонентів. Більш популярні альтернативи у вигляді мікроконтролерів серії STM32 у більшості випадків потребують підключення додаткових зовнішніх модулів, що ускладнює систему в цілому, збільшуючи енергоспоживання та загальну вартість.

Обраний мікроконтролер ESP32 побудований на чипі WROOM-32E, який в свою чергу є покращеним і оновленим варіантом WROOM-32 [9]. Завдяки зміні техпроцесу новий чип, при ідентичних характеристиках, має на ~10% нижче енергоспоживання в певних режимах роботи, що є важливим для даної системи. ESP32-WROOM32E використовує двоядерний мікропроцесор Xtensa LX6 із тактовою частотою до 240 МГц.

Мікропроцесор контролера дозволяє, окрім базового зчитування показників із сенсорів, також і проводити попередню обробку даних безпосередньо на пристрої. Це відкриває можливість швидкої фільтрації, усереднення, або класифікації даних перед зберіганням, або відправкою на сервер.

Плата ESP32 DevKitC v4 має у наявності 32 GPIO конекторів, 28 із них можуть слугувати і входами і виходами, тоді як інші 4 лише входами [9]. Також

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

із перелічених пінів – 16 можуть приймати аналогові сигнали і мають вбудовані АЦП. Виводи пінів мікроконтролера показано на рисунку 2.1. Це дозволяє підключити всі необхідні сенсори без використання зовнішніх мультиплексорів, або аналогових перетворювачів сигналу. Також більшість із пінів можуть працювати у різних режимах (PWM, I2C, SPI та інші), що забезпечує велику гнучкість для подальшого розширення або модифікації системи.

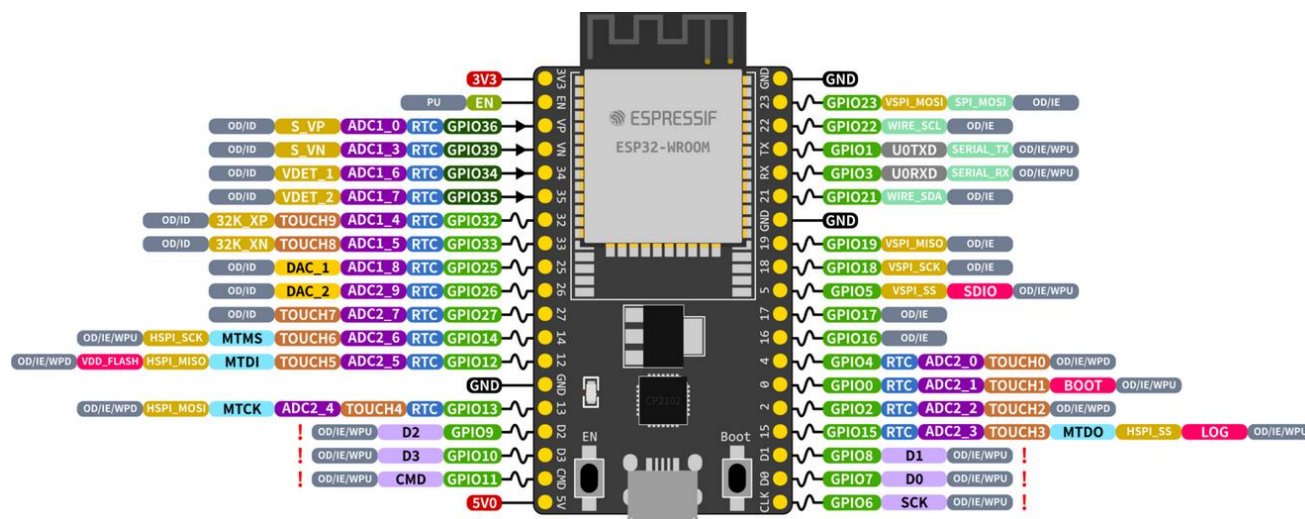


Рисунок 2.1 – Пін-аути для ESP32 DevKitC v4

На цьому переваги вибору ESP32 не закінчуються, обраний мікроконтролер є високо енергоефективним, а також має підтримку кількох режимів енергозбереження, а саме: активний режим, модем-сон, легкий сон, глибокий сон та «сплячка» [10]. Кожен із цих режимів дозволяє ефективно керувати живленням мікроконтролера для забезпечення максимального часу роботи системи й мінімізування споживання.

Активний режим не використовує ніякі методи енергозбереження, а Modem Sleep вимикає модулі Wi-Fi та Bluetooth за відсутності необхідності. Легкий та глибокий сон відрізняються тим, що для виходу зі сну при легкому достатньо переривань, а із глибокого потрібні зовнішні сигнали або таймер на RTC. Із цього випливає що глибокий сон починає роботу програми із початку, але зате споживання струму становить усього близько 10-150 мкА, тоді як при легкому сні це 0.8-2 мА. Режим Hibernation, або «сплячки» використовується у

крайніх випадках, при такому режимі вимикається майже все, включно з RTC пам'яттю, споживання падає до 2-5 мкА, а після пробудження відбувається повне скидання ESP32. Порівняно з STM32, особливо серіями STM32F1 або STM32F4, реалізація режимів сну в ESP32 є значно простішою як у налаштуванні, так і у програмуванні.

Мікроконтролер ESP32 було обрано також і через наявність обширної документації, великої підтримки спільноти й простоти розробки. Плати ESP32 підтримуються низкою середовищ розробки, включаючи Arduino IDE та PlatformIO, а також мають підтримку мов програмування C/C++ та MicroPython. Це є перевагою над STM32, адже розробка під їх плати вимагає використання STM32CubeIDE або Keil, де базові налаштування пінів, тактової логіки, а також робота із периферією вимагають значно більше часу і глибоких знань для досягнення одного рівня результату, що сповільнює розробку. Це не відмінняє того факту, що STM32 відкриває більші можливості налаштування і керування у цьому плані, але в даному випадку, система що розробляється не потребує цього, тому вибір простішої платформи є очевидним.

Схожими за своєю сутністю є Arduino Uno, Arduino Nano та подібні альтернативи, та всі вони поступаються ESP32. Завдяки вбудованим бездротовим модулям, кращому процесору, більшій кількості пінів та підтримці аналогових входів із високою роздільною здатністю, ESP32 вирізняється серед простіших варіантів на базі Arduino чи т.п. Вартість плати ESP32 DevKitC v4 на ринку є досить низькою, знову ж таки, в порівнянні з альтернативами, що також виділяє її з погляду на доступність проєкту.

У багатьох сферах електроніки, вбудованих систем і промислових рішень стандартом залишаються STM32. Але у порівнянні із ESP32 вони вимагають складнішої процедури конфігурування й розробки. Для розробки автономного пристрою, без необхідності у надточній синхронізації чи у специфічній апаратній логіці, який має працювати переважно в режимі простого збору показників із передачею їх на сервер, ESP32 забезпечує достатній рівень надійності, продуктивності й значно швидший цикл розробки.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таким чином, зважаючи на STM32 як галузевий стандарт, а також Arduino і подібні платформи як найпоширеніші серед ентузіастів, для реалізації цього проекту доцільно обрати ESP32. Цей мікроконтролер забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, енергоефективністю, простотою інтеграції та загальною вартістю. З огляду на вимоги до автономної роботи, бездротової передачі даних і низького енергоспоживання, плата ESP32 DevKitC v4 є найкращим вибором.

2.3 Вибір датчиків та елементів системи моніторингу

В даній системі для моніторингу якості води було обрано кілька із основних її параметрів, як температура, кислотність, мутність та електропровідність. Вони чітко дають зрозуміти й оцінити якість води в умовах відкритих водойм, придатність води для купання або допомагають виявити забруднення чи аномальні значення. Ключовим аспектом у створенні системи моніторингу якості поверхневих вод є правильний вибір датчиків, враховуючи усі потреби й задачі системи. Для цього ідеально підходять сенсори із низьким енергоспоживанням, обов'язковою сумісністю із ESP32, простою в підключенні та відносно не великою вартістю.

Більшість параметрів води є дуже складними й дорогими в зчитуванні та обчисленні, відповідні датчики можуть вартувати десятки, а то й сотні доларів, а також більшість із них є абсолютно не сумісними із простими мікроконтролерами. Для вибору оптимальних, недорогих й наявних датчиків раніше було звужено параметри моніторингу води до кількох одиниць. Навіть раніше обрані параметри води, такі як кислотність чи електропровідність досить важко просто, дешево й надійно зчитувати, і це не враховуючи необхідність підтримки ESP32.

Щоб обрати датчики для зчитування необхідних параметрів води необхідно знайти дешеві альтернативи. Такі датчики повинні бути побудовані на модулях здатних витримувати постійне перебування у воді, великі перепади

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

температур води у різні пори року, мати відносно хорошу точність, бути недорогими та сумісними із ESP32. Більшість із них потребують періодичного втручання для забезпечення правильності функціонування та підтримки заданої точності. Окрім вище переліченого сенсори повинні бути енергоефективними й легко налаштовуваними, щоб спростити їх встановлення й калібрування.

Для побудови даної системи моніторингу якості води було обрано чотири сенсори для основних параметрів зчитування. Кожен із них здатен працювати за складних умов середовища та має простий метод для передачі даних, який переважно представлений вихідним аналоговим сигналом. Більшість з них використовують складні принципи для зчитування показників, через це їхня вартість не може бути надто низькою, та попри це вартість найдорожчих із них не перевищує 250 грн, а ціни на інші коливаються в районі 150 грн, або нижче. Всі вони мають відкриту документацію та підтримуються спільнотою розробників, що спрощує налаштування та побудову системи.

Для зчитування мутності води було обрано сенсор Turbidity Detection Sensor Module (рис. 2.2), який використовує оптичний метод, а саме інфрачервоне випромінювання для визначення кількості завислих часток у воді [11]. Принцип роботи такого модуля базується на дисперсії світла, при великій кількості часток у воді відповідно велика кількість світла відбивається назад на приймач. Датчик працює з аналоговим сигналом й потребує АЦП для роботи, та його легко підключити до аналогових входів мікроконтролера. Сенсор є простим у використанні, має водо захищений зонд та підходить для побутових застосувань або освітніх проєктів. Також сенсор є недорогим, легким та працює в різних умовах середовища – за температур від -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Рисунок 2.2 – Вигляд сенсора мутності

Датчиком електропровідності слугуватиме Analog TDS Sensor Module, що вимірює загальну кількість розчинених у воді твердих речовин, таких як солі (рис. 2.3). Для зчитування використовується зонд із електродами, через які пропускається невеликий струм, а потім аналізується опір й на основі цього визначається TDS. Даний модуль також працює із аналоговим сигналом який інтерпретується в одиниці ppm, або parts per million, що означає частки на мільйон, в діапазоні живлення від 3.3В до 5.5В, та є сумісним із ESP32 [12]. Сенсор використовує водо захищений зонд, який може залишатися у воді тривалий час, а також побудований на основі АС-збудження, що запобігає поляризації електродів та продовжує термін служби. Модуль сенсора є відносно не дорогим, зручним у використанні, може працювати у температурах до 55°C, та має відносну похибку в точності до 10%, що є адекватним показником враховуючи всі попередньо перелічені плюси.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Вигляд TDS сенсора електропровідності

Вимірювання кислотності відбувається за допомогою модуля DIY More PH4502C (рис. 2.4), який містить датчик на основі електрохімічного рН-електрода, та підсилювача сигналу з BNC-конектором [13]. Такий датчик забезпечує можливість постійного зчитування кислотності води у різних сферах застосування. Принцип дії сенсора базується на вимірюванні наявного потенціалу між електродом та опорним елементом. Модуль має найширший можливий діапазон зчитування рН у межах від 0 до 14, після калібрування точність даних становить 0.1 – 0.3 одиниці. Для підтримки такої точності необхідне періодичне калібрування. Сенсор має широку підтримку бібліотек сумісних із EPS32, працює за температур до 105°C, його вартість схожа із датчиками мутності та електропровідності, також дуже простий у підключенні.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Рисунок 2.4 – Вигляд сенсора кислотності із BNC електродом

Датчик температури для використання у системі було обрано з огляду на його використання для вимірювання температури води за різних умов та пір року. Для цього підійшов модуль DS18B20 (рис. 2.5) який ідеально підходить завдяки своїй водонепроникності та прямій сумісності із ESP32 системами. Сенсор має хорошу точність із похибкою в межах 0.5°C , та здатен працювати за будь яких температурних умов у межах від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ [14]. Може досить просто й швидко бути підключеним через 1-Wire шину або аналоговий вхід до мікроконтролера. Датчик є достатньо надійним, дешевим й простим в реалізації, що також робить його ідеальним вибором для даної системи.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 2.5 – Вигляд датчика температури із зондом

Окрім сенсорів система також потребує модулі безпроводного передавання даних, а також зберігання даних, тобто модуль пам'яті. У проєкті системи використовується мікроконтролер на базі плати ESP32 DevKitC V4, яка має вбудовані Wi-Fi та Bluetooth модулі. Це дозволяє зручно та нативно, без використання дротових технологій по типу Ethernet, передавати дані та комунікувати із сервером у мережі інтернет. Завдяки цьому відпадає необхідність у використанні зовнішніх компонентів, що спрощує схему, а також зменшує вартість системи в цілому та спрощує її побудову та налаштування.

Оскільки не у всіх місцях є доступ до Wi-Fi, а також він не є ідеальним, через своє енергоспоживання й низький радіус дії, можливе використання GSM для мобільного зв'язку, або LoRa, що здатне покращити автономність та збільшити радіус покриття системи. Це особливо актуально у віддалених точках чи водоймах, тому продумано можливе використання альтернативних технологій передачі даних. Для цього можливе використання GSM-модулів, наприклад SIM800L для безпроводного зв'язку використовуючи мобільні мережі. Також як варіант можна використати LoRa-модулі, які ідеальні для довготривалого передавання даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням. Ця технологія набуває особливої цінності коли є

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідність у передачі даних на великі відстані, забезпечені стабільності зв'язку до кількох кілометрів, а також низькому енергоспоживанні.

Для резервного зберігання даних потрібна постійна пам'ять, для цього ESP32 має 4 МБ вбудованої флеш пам'яті. Цього об'єму цілком достатньо для тимчасового зберігання зібраних даних, оскільки вони зчитуються із невеликою періодичністю, а самі дані є невеликими за обсягами майже примітивними типами даних.

Оскільки в системі передбачена можливість зберігання даних у постійну пам'ять при відсутності з'єднання із мережею, потрібно також врахувати необхідність отримання точного часу. Є два основних варіанти для отримання часу: використання NTP-сервера, або RTC-модуля. Оскільки для отримання часу з NTP необхідне підключення до інтернету, єдиним можливим варіантом залишається використання додаткового модуля RTC. Для цього ідеально підходить годинник реального часу DS3231 [15]. Він має вхід для підключення автономного джерела живлення, та окрім цього модуль використовує батарейку типу CR2032 для резервного живлення. Це дозволяє здійснювати хронометрування та вимірювання часу навіть при відключеній основній напрузі живлення.

Для енергоживлення системи потрібно обрати передбачені раніше сонячну панель, акумулятор та контролер живлення. Та щоб це зробити необхідно обчислити загальне споживання системи й відштовхуючись від цього обирати конкретні моделі цих модулів. Оскільки на даному етапі важко обчислити точне споживання системи, перераховані вище модулі енергоживлення буде обрано на пізніх етапах.

2.4 Оцінка енергоспоживання та вибір джерела живлення

При побудові будь якої вбудованої системи важливо детально проаналізувати та обчислити середнє та пікове енергоспоживання для коректного вибору джерела живлення. Система моніторингу води працює

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

передбачувано й покроково знаходячись більшість часу у режимі сну, періодично активуючись для вимірювання показників води та передачі даних на сервер.

Коли система активна мікроконтролер ESP32 переходить у робочий режим, зчитує дані з датчиків, вмикає бездротовий модуль передачі, наприклад Wi-Fi, формує результати зчитувань та відправляє все це на сервер. Враховуючи всі кроки, можливі затримки, та час для точного зчитування кожного із параметрів весь цей процес займає від 30 до 60 секунд часу. Оскільки більше роботи система не має – решту часу вона проводить в глибокому сні, де споживання різко знижується.

При активній роботі споживання плати ESP32 DevKitC V4 становить приблизно 180 – 240 мА, в залежності від того як працює модуль Wi-Fi. В сукупності усі датчики додають близько 50 – 60 мА враховуючи роботу в режимі періодичного зчитування [9, 10]. Переважно система працюватиме лише до 15 годин на добу, оскільки в ночі немає великої необхідності в зчитуванні показників, та для обчислення пікового енергоспоживання будемо вважати що заміри проводяться протягом усієї доби. При піках навантаження система споживає до 300 мА, враховуючи що система робоча лише до 1 хвилини часу з періодичністю в 1 годину, то за добу максимум активного часу буде 24 хвилини, або 0.4 години. Навіть при таких умовах, енергія витрачена буде рівна $0.4 \text{ год} * 300 \text{ мА} = 120 \text{ мА/год}$.

Весь інший час в добі система проводитиме в режимі глибокого сну, оскільки ніякі модулі в цей час не працюють, а споживання ESP32 в такому режимі орієнтовно становить від 0.01 мА до 0.15 мА. Враховуючи найгірші випадки при споживанні у 0.15 мА: $24 \text{ год} - 0.4 \text{ год} = 23.6 \text{ год}$, $23.6 \text{ год} * 0.15 \text{ мА} = 3.54 \text{ мА/год}$ на добу, що є дуже низьким показником. Враховуючи все це загально добове споживання усієї система можна оцінити $120 \text{ мА} + 3.54 \text{ мА} = 123.54 \text{ мА/год}$ на добу. Оскільки варто обчислити найбільші можливі значення, заокруглимо в більший бік, а також врахуємо можливі затримки, або втрати, наприклад на перетворення напруги, нерівномірність освітлення та старіння

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

елементів, будемо вважати добове споживання системи на рівні не менше 150 мА/год.

Враховуючи необхідність можливості роботи в найгірших випадках в польових умовах, де можливі кілька днів похмурої погоди, або повна відсутність достатнього сонячного освітлення рекомендовано використати акумулятор ємністю щонайменше 2000 – 2500 мА/год. Використання такої батареї в системі дозволить їй працювати більше 10 днів взагалі без підзарядки, а також такий об'єм акумуляторів є одними із найчастіше використовуваних.

Щоб розрахувати потужність сонячної панелі варто врахувати приблизний час потрапляння сонячного світла на добу. Додатково, окрім підтримки обрахованого споживання в 150 мА/год сонячна панель повинна також заряджати і акумулятор для резерву. Будемо вважати тривалість ефективного сонячного освітлення у 4 години на добу, необхідна сонячна панель із потужністю $150 \text{ мА/год} / 4 \text{ год} = 37.5 \text{ мА}$, що рівно приблизно 200 мВт при стандартній напрузі в 5 В. Враховуючи втрати енергії, похмуру погоду й неідеальне положення та незначне забруднення панелі, варто обрати сонячну панель із потужністю не менше 1.5 – 2 Вт при напрузі в 5 В. Така панель здатна буде забезпечити 300 – 400 мА протягом доби в хорошу погоду, що достатньо для покриття витрат і додаткової підтримки рівня заряду акумулятора.

Система моніторингу живить усі компоненти від акумулятора, до якого під'єднано сонячну панель через контролер заряду. Він регулює процес заряджання акумулятора, запобігаючи надмірному заряджанню, або розряджанню, що значно продовжує строк служби акумулятора, зменшуючи необхідність частих обслуговувань системи. За потреби напруга акумулятора стабілізується понижувальним перетворювачем напруги для живлення ESP32 та всіх модулів на рівні 3.3 В.

В результаті обрахунків, для забезпечення можливості автономної роботи системи було обрано літій-іонний акумулятор Li-Ion 18650 Samsung INR18650-30Q ємністю 3000 мА/годину. Такий тип акумуляторів широко використовується в різних сферах, для прикладу для живлення ноутбуків, дронів, павербанків, або

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

навіть електромобілів. Також він здатен працювати за широкого діапазону температур, а також має високу сумісність із контролерами заряду, яким було обрано модуль на базі CN3791. Таки модуль розроблений спеціально для заряджання літієвих батарей від сонячних панелей

Джерелом електроенергії було обрано сонячну панель 6 В/2 Вт, така панель покриває необхідність енергії, маючи робочий струм в 330 мА, також вона має вологозахист, що робить її ідеальним варіантом при використанні в польових умовах. Обрана сонячна панель є високоефективним варіантом, яка добре підходить для системи моніторингу якості води, маючи при цьому відносно невеликі розміри 136 x 110 мм.

2.5 Електрична принципова схема

Надважливим кроком, без якого практично не можливо правильно побудувати функціонуючу систему – є проектування електричної принципової схеми. Така схема відображає чіткі взаємодії між усіма елементами, показуючи як конкретні компоненти системи з'єднані між собою. Електрична принципова схема показує які саме піни використовуються для з'єднання тих чи інших модулів, як проведено живлення в системі, а також чітку електричну структуру системи включаючи усі базові електричні компоненти на кшталт резисторів чи конденсаторів. Основною метою є забезпечення надійного живлення, стабільної передачі даних та захисту елементів, при цьому враховуючи компактність та енергоефективність системи.

Система живлення складається із кількох ключових елементів, за забезпечення живлення відповідає сонячна панель. Вона має потужність 2 Вт, вихідну напругу в 6 В, та робочий струм до 330 мА за номінальних умов освітлення. Сонячна панель заряджає літій-іонний акумулятор Samsung INR18650-30Q ємністю 3000 мА/год та номінальною напругою 3.7 В. Для коректної роботи акумулятора, для його заряджання використовується модуль контролю заряджання CN3791.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Модуль CN3791 є спеціалізованим MPPT-контролером, який максимізує ефективне використання сонячної батареї. На відміну від звичайних лінійних, або PWM-контролерів MPPT постійно слідкує за точкою максимальної потужності сонячної панелі, на що впливають освітленість та температура. Він регулює вхідний струм від сонячної панелі, щоб отримати найвищу можливу енерговіддачу та захищає акумулятор від перезаряду, або глибокого розряду чим продовжує строк експлуатації акумулятора.

Акумулятор типу 18650 має номінальну напругу 3.7 В, однак, при повному заряді ця напруга сягає до 4.2 В, а при розряджанні падає до 3 В. Такий великий діапазон можливих напруг шкодить системі, якій необхідні сталі 3.3 В. Окрім того частина системи, а саме більшість датчиків живляться від 5 В, що створює необхідність у підвищувальному перетворювачі. Такий перетворювач на виході дає стабільні 5 В, в незалежності від поточного струму акумулятора. Для цього було обрано модуль MT3608, він приймає напруги від 2 В до 24 В, а видає від 5 В до 28 В. Це вискоефективний DC-DC перетворювач який має ККД близько 93%, який ідеальний для точних компонентів, що вимагають стабільної напруги.

Оскільки мікроконтролер та деякі елементи системи використовують 3.3 В, в системі живлення передбачено понижуючий стабілізатор AMS1117-3.3, який забезпечує постійні 3.3 В, на яких працює мікроконтролер та інші сенсори. Така система живлення дозволяє уникнути проблем із нестабільною напругою від сонячної панелі чи акумулятора, при цьому забезпечуючи безперебійну роботу мікроконтролера та датчиків системи.

Мікроконтролер ESP32 DevKitC забезпечує збір даних, їх попередню обробку та передачу через безпроводні модулі на сервер. Усі датчики в системі підключено до портів GPIO, тоді як датчик температури під'єднано до будь якого цифрового входу, всі інші датчики необхідно підключити до портів із підтримкою аналого-цифрового перетворення на платі мікроконтролера. Для зчитування обраних параметрів води використовуються різні датчики, які переважно використовують аналогові сигнали та мають різні робочі напруги.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Датчик температури DS18B20 використовує інтерфейс 1-Wire, та потребує підключення сигнальної лінії до лінії живлення через підтягуючий резистор опором у 4.7 кОм. Це значення є стандартним для інтерфейсу 1-Wire, який використовує спільну шину для передачі даних та забезпечення живлення. Варто використовувати саме це значення опору резистора, адже при зменшенні цього параметра зросте струм, що може призвести до перевантаження порта мікроконтролера, а при збільшенні – сигнали від датчика можуть стати нечіткими.

Для вимірювання кислотності води використовується аналоговий рН датчик, що живиться напругою в 5 В, споживає від 5 до 10 мА і має аналоговий вихід. Враховуючи те, що обраний мікроконтролер ESP32 працює при напругах до 3.3 В, а вихідний сигнал датчика перевищує ці значення, то його пряме підключення до аналогових входів мікроконтролера неможливе. Для підключення необхідне використання буферного подільника напруги на резисторах.

Датчик TSD, що використовується для зчитування електропровідності води має робочий діапазон напруг від 3.3 до 5.5 В, має аналоговий сигнал на виході із напругами до 2.3 В, споживаючи при цьому 3 – 6 мА. Такі напруги є цілком безпечні для ESP32 й можливе пряме підключення цього датчика до мікроконтролера без додаткових понижувачів напруги.

Зчитування мутності води відбувається завдяки аналоговому датчику, який потребує напруги живлення в 5 В, споживаючи при цьому близько 30 мА. Аналоговий сигнал на виході датчика може сягати 4.5 В, що є більшим ніж допустимі входні значення ESP32. Щоб забезпечити коректну роботу датчика із мікроконтролером між ними необхідно встановити подільник напруги.

Для того щоб підключити датчики, вихідний сигнал яких перевищує робочі 3.3 В системи необхідно використати подільник напруги на резисторах у співвідношенні 1 до 1,5. Саме таке співвідношення забезпечує зниження піків вихідної напруги до значень близько 3 В. Для датчика мутності використовується подільник на резисторах із опорами 10 кОм та 15 кОм. Датчик

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

кислотності в свою чергу використовує два резистори на 10 кОм та 15 кОм. Понижені таким методом значення напруги є повністю безпечними для аналогового входу мікроконтролера ESP32.

Через те, що в системі наявні модулі які працюють із живленням в 5 В, коли основна логіка системи відбувається на 3.3 В, необхідно передбачити декілька стабільних ліній живлення. Щоб забезпечити захист від пульсацій, шумів та інших електричних завад на входах стабілізаторів, а також біля виходу модуля AMS1117 було розміщено керамічні конденсатори на 0.1 мкФ в парі із електролітичними конденсаторами на 10 мкФ. Вони слугуватимуть фільтрами від шумів, а також стабілізаторами напруги при імпульсному навантаженні.

Керамічні конденсатори являються неполярними, в системі передбачено 3 таких із ємністю в 0.1 мкФ, вони є ефективними для фільтрації високочастотних шумів. Тоді як електролітичні конденсатори є полярними, тому необхідно коректно розмістити їх врахувавши відповідну полярність. Такі конденсатори в системі мають ємність 10 мкФ забезпечують стабільність напруги на рівні живлення низькочастотних компонентів. Це є хорошим рішенням для використання в системах із імпульсним навантаженням при роботі від нестабільного джерела живлення, такого як акумулятор чи сонячна панель.

Для захисту електричної схеми передбачено кілька простих, але ефективних рішень на базових компонентах. Біля сонячної панелі у вхідне коло, а також біля акумулятора було підключено шотткі-діоди, які запобігають зворотному струму. Також TVS-діод було підключено паралельно клемам модуля CN3791 – забезпечуючи захист від короткочасних підвищень напруг, або імпульсів через зміни умов освітлення [16]. На виході контролера заряду перед основним колом живлення встановлено ще один шотткі-діод, а також запобіжник РТС із самовідновленням у розрив позитивної лінії живлення. Завдяки запобіжнику при надмірному споживанні струму він розмикає коло, та повертає систему до роботи після того як зникає причина перевантаження. Завдяки цим базовим елементам система забезпечена базовим рівнем електричного захисту без надмірного ускладнення схеми.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2.6 Шини та протоколи обміну даними

Система моніторингу використовує як аналогові, так і цифрові порти для обміну даними. Більшість датчиків, а саме датчик кислотності, мутності та електропровідності використовуються аналогові сигнали на своєму виході. Такі сигнали можна напряму зчитувати за допомогою GPIO портів на мікроконтролері із підтримкою аналого-цифрового перетворення. Це є хорошим варіантом для пристроїв, які не потребують над високої точності передачі, або швидкості адресації.

Датчик температури води, а саме DS18B20, використовує й працює за протоколом 1-Wire. Цей протокол дозволяє передачу даних одним проводом із підтримкою підключення декількох пристроїв на одній лінії [17]. Оскільки в даній системі лише один модуль який використовує даний протокол, необхідності у адресації немає й тому використовується найпростіший варіант конфігурації.

Для забезпечення точної фіксації часу вимірювань використовується модуль годинника реального часу DS3231. Даний модуль підключається до мікроконтролера за допомогою цифрового інтерфейсу I2C. Це шина на двох проводах, що складається з лінії даних та лінії синхронізації, яка дозволяє організувати зв'язок між мікроконтролером та кількома пристроями на одній шині [18].

Інші варіанти цифрових інтерфейсів передачі, які часто використовуються в подібних системах, наприклад SPI в даній системі не застосовуються через відсутність необхідності. Це обумовлено тим, що обрана апаратна частина не потребує складних підключень кількох сенсорів на одну шину, або швидкісної передачі даних цифровим портом.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Захист системи від зовнішніх впливів та програмних збоїв

Важливо, при побудові вбудованої системи передбачити захист від зовнішніх впливів, тим паче для системи моніторингу якості води, яка може тривалий час знаходитись на відкритому повітрі без нагляду. Для цього всі компоненти пристрою розміщуються в герметичному пластиковому корпусі, із базовим волого-пиле захистом, наприклад IP47. Це захищає елементи системи від короткого замикання через конденсацію чи дощ. Всі з'єднання між модулями необхідно герметизувати, або використовувати вологозахищені конектори.

Система має передбачені апаратні методи захисту, такі як шоттки діоди для запобігання зворотній полярності, TVS діод для захисту від імпульсних перепадів напруг, а також самовідновлюваний запобіжник у лінії живлення для захисту від коротких замикань [16]. Також контролер заряду CN3791 має декілька вбудованих методів захисту, такі як захист від перегріву та стрибків струму.

Окрім цього в мікроконтролері передбачено використання вбудованого watchdog таймера. Він забезпечує автоматичне перезавантаження системи у випадку, якщо певний час система не відповідає, відбулося зависання, або виникли програмні помилки. При відсутності з'єднання із сервером, або інших помилок безпроводного модуля системи всі дані, що зчитуються в цей період часу зберігаються у пам'яті пристрою. Після відновлення з'єднання всі дані автоматично відправляються на сервер, що запобігає втраті даних при виникненні проблем із безпроводною передачею даних. Система має достатньо продумані методи захисту, вони зберігають пристрій від впливу зовнішнього середовища, а також від програмних помилок чи системних збоїв.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

3.1 Алгоритм роботи системи моніторингу

Комп'ютеризована система моніторингу працює за циклічним алгоритмом, який містить етапи зчитування, обробку та передачі даних про якість поверхневих вод. Система умовно складається із трьох блоків, кожен з яких пов'язаний із іншим, та виконує власні задачі. Такими елементами виступають: пристрій, що зчитує і відправляє дані, сервер, який отримує дані, зберігає їх у базі даних, та клієнтський веб-сайт, який запитує дані з сервера й візуалізує їх у зрозумілому для користувача форматі. Загальна послідовність операцій та взаємозв'язків між цими блоками детально відображена на блок-схемі алгоритму роботи системи.

Загальний алгоритм системи відповідно також поділяється на три менших алгоритми – кожен з яких описує певний логічний блок системи. Вигляд загального алгоритму роботи системи показано у додатку Б. Першим етапом роботи системи є збір даних на мікроконтролері. Його описує алгоритм, який починається із виходу мікроконтролера з режиму сну, в якому він перебуває майже весь час для економії енергії акумулятора. Це відбувається завдяки внутрішньому таймеру який дає сигнал для пробудження, що активується через заданий інтервал, наприклад 1 годину. Після цього система ініціалізує всі датчики: температури води, кислотності, мутності та електропровідності. Після короткої паузи, необхідної для стабілізації показників датчиків, відбувається зчитування значень.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Белей К.В.			Програмна реалізація системи моніторингу	Літ.		Арк.	Аркушів
Перевірів		Тиш Є.В.						38	
Рецензент						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.		Луцик Н.С.							
Затвердив		Осυχівська Г.М.							

Отримані дані формуються в єдиний пакет даних, який включає всі зчитані показники, точний час зчитування та унікальний ідентифікатор пристрою. Після цього, система перевіряє наявність підключення до бездротової мережі, якщо його немає система зберігає дані у локальній пам'яті, інакше відправляє на сервер за допомогою його визначеної API-адреси. Останнім етапом роботи власне пристрою системи є перехід до режиму глибокого сну, відразу після того, як вимкнулись усі датчики та бездротовий модуль.

Наступним етапом і елементом загального алгоритму є серверна частина, яка розроблена із використанням Node.js та NestJS. Сервер знаходиться у віддаленому місці, де постійно очікує на HTTP-запити. Він також постійно підтримує ініціалізоване підключення до бази даних, яке утворюється при його запуску. Сервер приймає два варіанти запитів, а саме POST та GET, які означають відправлення та отримання, відповідно. Вони можуть надходити як із пристрою на мікроконтролері, так і з клієнтського веб сайту.

Якщо запит надходить із пристрою із пакетом зібраних даних, то сервер першочергово проводить валідацію: перевіряє коректність формату, та наявність усіх необхідних полів. У разі успішного проходження валідації сервер розділяє дані що надійшли, та зберігає їх у вже підключену базу даних PostgreSQL. Отримана інформація зберігається у відповідній таблиці із прив'язкою до ідентифікатора пристрою та часу вимірювання.

При надходженні GET запиту із клієнтської частини, сервер для початку перевіряє мапу шляхів, яка визначає функціонал кожного запиту. Клієнтський веб сайт може потребувати різні варіації даних, наприклад відібрані за певним числом, або діапазоном дат. Для цього на сервері уже передбачені окремі шляхи, тому якщо клієнту необхідні певні дані, він легко може їх отримати, без необхідності зовнішнього втручання.

Після того, як сервер визначився із функцією, яку необхідно викликати в залежності від запиту що надійшов, він зв'язується із базою даних для формування запиту. Наступним кроком будується запит до бази даних, який включає інформацію про необхідні дані, які потрібно знайти. Такий запит може

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

містити різні поля, зв'язки між таблицями, сортування, чи інші методи для отримання саме тих даних, які вимагає клієнт. Після чого, за необхідності сервер проводить певні додаткові маніпуляції із даними, вже на своїй стороні, після чого відправляє дані назад на клієнт.

Останньою ланкою в роботі системи є клієнтський веб сайт, він працює лише за ініціативи кінцевого користувача. Коли користувач заходить на Next.js веб сайт, відбувається певний перелік операцій, для того щоб показати користувачу дані на екран. Оскільки веб сайт складається із двох основних частин, а саме сторінки із останньою інформацією, та сторінки із переглядом історії, наступні кроки частково відрізняються. Для початку відсилаються запити до сервера, вони можуть бути різними, в залежності від сторінки на яку перейшов користувач.

Після отримання відповіді від сервера із необхідною інформацією клієнт починає її додаткове опрацювання. Він формує дані в залежності від компонента, який їх потребує. Оскільки веб сайт складається із багатьох компонентів запити та обробка відрізняється для кожного із них, але загальний принцип однаковий. Відразу після цього всі дані відображаються користувачеві у зрозумілому форматі, наприклад у вигляді мапи, віджетів та інших компонентів для візуалізації даних, що дозволяє користувачеві в зручній формі оцінити стан водних ресурсів.

3.2 Робота пристрою, обробка та передача даних

Код програми для роботи вимірювального пристрою на основі ESP32 розроблено в середовищі Arduino IDE з використанням фреймворку Arduino для мікроконтролерів ESP32. Програма побудована навколо ключових завдань модуля, а саме зчитування датчиків, обробка значень, формування даних та відправка на віддалений сервер через безпроводні мережі. Також передбачено вирішення питань енергоефективності, що є дуже важливими при автономному живленні.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Код починається із підключення необхідних бібліотек, налаштування основних параметрів конфігурації та визначення константних значень. Перелік бібліотек включає наступні для взаємодії із модулем Wi-Fi, передачі даних через HTTP, форматування JSON, а також окремі бібліотеки для датчика температури води DS18B20 та модуля точного часу DS3231. Оскільки інші датчики передають дані за допомогою аналогових сигналів – встановлення додаткових бібліотек для них не потрібне.

Для того, щоб задати основні налаштування в коді, було задано сталі значення за допомогою «#define». Такі константи включають ідентифікатор пристрою, параметри доступу та налаштування мережі Wi-Fi, а також параметр тривалості глибокого сну. Завдяки цьому, при необхідності код можна легко адаптувати під інший пристрій, та швидко змінити потрібні параметри. Окрім того, в конфігураціях передбачені налаштування використовуваних пінів для кожного із датчиків (рис. 3.1).

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>

#define DEVICE_ID 1
#define WIFI_SSID "WaterMonitoring"
#define WIFI_PASSWORD "WaterMonitoring123"
#define SERVER_URL "http://192.168.1.241:3000/data"
#define DEEP_SLEEP_DURATION 3600

#define TURBIDITY_PIN 34
#define TDS_PIN 35
#define PH_PIN 32
#define DS18B20_PIN 4
```

Рисунок 3.1 – Лістинг підключення бібліотек та основні налаштування

Вся логіка програми поділена на функції, кожна з яких відповідає за певний функціонал. Основний код відбувається у функції «setup()», яка виконується

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

один раз, після виходу мікроконтролера з режиму глибокого сну (рис. 3.2). Стандартна функція «loop()» в даному випадку не використовується, адже циклічність системи реалізована за допомогою таймера та режиму сну, що є стандартною практикою для схожих систем.

```
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Wire.begin();
    bootCount++;
    Serial.println("Boot number: " + String(bootCount));
    rtc.begin();
    initSensors();
    float temperature = getTemperature();
    float turbidity = getTurbidity();
    float tds = getTDS(temperature);
    float ph = getPH(temperature);
    String jsonData = formatDataToJson(temperature, turbidity,
tds, ph);
    connectToWiFi();
    sendDataToServer(jsonData);
    goToDeepSleep();
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг головної функції програми

Після виходу з режиму сну мікроконтролер ініціалізує датчики й починає послідовно зчитувати їхні показники. Для кожного із параметрів передбачена власна функція, для зчитування температури використовується «getTemperature()», яка напряду взаємодіє з бібліотекою «DallasTemperature» для отримання значень із датчика. Для інших параметрів передбачені окремі функції, які використовують сирі значення з АЦП для отримання фінального показника. Для цього отримане значення переводиться в напругу й за допомогою емпіричних або лінійних формул приводиться в зрозумілі одиниці (NTU, ppm, pH). Окрім того розрахунок електропровідності з датчика TDS враховує температурну компенсацію для підвищення точності вимірювання.

Після завершення зчитування та обробки даних – всі показники формуються в JSON об'єкт. Для взаємодії із таким типом об'єктів використовується вбудована бібліотека «ArduinoJson.h». Вона використовується

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в функції «formatDataToJson()», яка створює структуру об'єкту, включаючи ідентифікатор пристрою та точну мітку часу зчитування. Щоб отримати точний час використовується зовнішній NTP-сервер, який надає дані про точний час через Wi-Fi.

Наступний етап – передача даних на сервер, для цього використовується HTTP POST-запит, та функція «sendDataToServer()» (рис 3.4). Передбачена бібліотека «WiFi.h» використовується для встановлення з'єднання до Wi-Fi, а також бібліотека «HTTPClient.h» для відправки HTTP запиту. Функція вказує заголовок запиту, додаючи інформацію про його наповнення та відправляє дані на сервер.

```
void sendDataToServer(String data) {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        http.begin(SERVER_URL);
        http.addHeader("Content-Type", "application/json");

        int httpResponseCode = http.POST(data);

        if (httpResponseCode > 0) {
            Serial.print("HTTP Response code: ");
            Serial.println(httpResponseCode);
            String payload = http.getString();
            Serial.println(payload);
        } else {
            Serial.print("Error sending POST request, code: ");
            Serial.println(httpResponseCode);
        }
        http.end();
    } else {
        Serial.println("WiFi Disconnected, cannot send data.");
    }
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг функції для відправки даних на сервер

Після успішної передачі даних система виконує функцію «goToDeepSleep()». Вона встановлює таймер пробудження згідно заданого значення інтервалу сну, після чого все переходить у режим глибокого сну. Для збереження стану між перезавантаженнями, наприклад, для лічильника успішних відправок, є можливість використання енергонезалежної RTC-пам'яті.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього варто скористатись атрибутом RTC_DATA_ATTR для оголошення необхідної змінної. В даному випадку мікроконтролер зберігає кількість успішних запусків системи у змінній bootCount, яка інкрементується при виході системи з режиму глибокого сну.

3.3 Робота серверної частини

Серверна частина системи працює на віддаленому сервері, та розроблена із використанням Node.js та NestJS технологій. Технологія Node.js дозволяє створення серверних програм із використанням мови програмування JavaScript, яка першочергово була створена для роботи в браузері. NestJS у свою чергу є фреймворком на базі Express, який розширює його можливості, та широко використовується при створенні API для встановлення зручних зв'язків між базами даних та клієнтськими застосунками. Завдяки ньому можна будувати різні клієнт-серверні взаємодії, з використанням різних підходів таких як REST-API, GraphQL, WebSocket та інших.

Для побудови сервера для системи моніторингу якості поверхневих вод використовується підхід REST-API, яка дозволяє обмін даними за допомогою HTTP запитів. Це зручно, бо REST це простий і зрозумілий спосіб для організації взаємодії між клієнтом і сервером. Він використовує стандартні HTTP запити, наприклад GET для отримання, POST для створення, PUT/PATCH для оновлення та DELETE для видалення даних.

В якості системи управління базами даних було обрано PostgreSQL як загально прийнятий стандарт, який широко використовується коли є необхідність у створенні бази даних, яка буде чіткою, структурованою, швидкою та простою у взаємодії [19]. Вона побудована на основі, та використовує мову SQL для взаємодії із таблицями їх полями та даними в цілому [19; 20]. Побудова серверу починається із розробки бази даних, а саме визначення необхідних таблиць та їх полів.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.1 Розробка бази даних

Для того, щоб зрозуміти структуру бази даних варто розпочати із виділення основних сутностей. В даному випадку перелік сутностей включає: поселення або населений пункт, сенсор та зчитування. Передбачається, що населений пункт це певна територія із водними ресурсами, де встановлено систему на мікроконтролері, що розробляється, яка в сукупності називається сенсором, а зчитуваннями виступають дані, що надходять із цих систем. Всі вони повинні бути взаємопов'язаними, для цього в їх атрибутах необхідно передбачити поля для зберігання зв'язків [19]. Це є необхідним кроком, адже без цього СУБД не матиме можливості поділити зчитування між сенсорами, та сенсори між поселеннями.

Після того, як було обрано конкретні сутності, можна переходити до визначення їх атрибутів. Кожна сутність повинна мати ідентифікатор, за допомогою якого можна відрізнити їх екземпляри, а також атрибути де зберігатиметься ідентифікатор сутності, яка напряду пов'язана із даною [19]. Окрім ідентифікатора, сутність поселення містить поля із назвою населеного пункту, поля для довготи та широти, а також поле яке вказує на перелік сенсорів які пов'язані із цим поселенням. Сутність сенсор визначає назву локації де розташовано пристрій, його координати, зв'язок із поселенням й перелік зчитувань. Зчитування відповідають даним, що надходять від автономного пристрою, тому містить поля для усіх параметрів та дати зчитування, а також зв'язок до певного сенсора та окремий параметр якості води.

Індекс якості води – це загальний параметр, який уособлює усі реальні показники води, такі як температура, кислотність, мутність та електропровідність. Він дозволяє користувачеві швидко оцінити, й легко зрозуміти поточний стан води, без необхідності знання впливу кожного із параметрів. Для обчислення індексу якості води використовується складна функція, яка враховує попередньо визначені норми, а також максимально й мінімально допустимі значення кожного із показників води. В залежності від стану кожного параметру до загального показника додаються певні значення.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після чого враховується вага кожного із параметрів, яка залежить від його впливу на загальну якість води. В кінці результат заокруглюється й виходить число в межах від 0 до 100, яке у % показує загальний стан води у конкретній точці.

3.3.2 Розробка серверної програми

Серверна частина побудована модульним чином, кожна із сутностей має окрему схему, контролер та провайдер, що є базовими складовими NestJS [20]. Схеми визначають сутності, а також їх атрибути й використовуються програмою для розуміння того, як виглядають дані, які зберігаються в базі [19, 21]. Це дозволяє чітко задати структуру, з якою працює як сервер, так і база даних, що унеможливорює конфлікти полів [21, 22]. Для їх створення використовується декоратор «@Entity», та клас, який оголошує всі необхідні атрибути сутності, приклад коду для сутності сенсора показано на рисунку 3.5.

```
@Entity()
export class Sensor {
  @PrimaryGeneratedColumn()
  id: number;
  @Column()
  location: string;
  @Column('float')
  latitude: number;
  @Column('float')
  longitude: number;
  @ManyToOne(() => Settlement, (settlement) =>
settlement.sensors)
  @JoinColumn({ name: 'settlementId' })
  settlement: Settlement;

  @Column()
  settlementId: number;
  @OneToMany(() => Reading, (reading) => reading.sensor)
  readings: Reading[];
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду схеми сутності сенсора

Контролери це один із головних складників програми – вони відповідають за отримання HTTP запитів з клієнту. Кожен із них отримує запити на

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

визначений у ньому шлях, таким чином кожна сутність має власний контролер, що спрощує архітектуру, та робить її більш масштабованою та зрозумілою. Вони виступають у ролі маршрутизаторів, визначаючи який шлях API за що відповідає. Після отримання запиту вони викликають функції провайдера, за необхідності передаючи туди певні дані, що надійшли разом із запитом. Для оголошення контролера використовується клас із декоратором «Controller()», в якому вказується основний шлях сутності, який переважно співпадає із назвою сутності. Також необхідно додати конструктор класу, в якому оголосити змінну для виклику функцій провайдера. Приклад контролера сутності зчитування із конструктором та функціями наведено на рисунку 3.6.

```
@Controller('reading')
export class ReadingController {
    constructor(private readonly readingService: ReadingService)
    {}

    @Post()
    create(@Body() createReadingDto: CreateReadingDto):
    Promise<Reading> {
        return this.readingService.create(createReadingDto);
    }

    @Get()
    findAll(): Promise<Reading[]> {
        return this.readingService.findAll();
    }

    @Get('/:id')
    findOne(@Param('id') id: number): Promise<Reading> {
        return this.readingService.findOne(id);
    }
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду контролера сутності зчитування

Провайдери це сервіси які містять функції обробки запитів та даних. В даному випадку вони використовують для взаємодії із базою даних. При виклику функцій провайдера він звертається до певного репозиторію для отримання, збереження, редагування чи видалення даних із бази даних [21]. Для оголошення провайдерів використовують декоратор «@Injectable» (рис. 3.7), адже вони працюють за практикою «ін'єкції залежностей». Її суть полягає в тому, що об'єкт не створює свої залежності самостійно, а отримує їх від спеціального

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера. Це значно спрощує тестування й дозволяє повторне використання провайдера.

```
@Injectable()
export class ReadingService {
  constructor(
    @InjectRepository(Reading)
    private readonly readingRepository: Repository<Reading>,
  ) {}
  async create(createReadingDto: CreateReadingDto):
  Promise<Reading> {
    const reading =
this.readingRepository.create(createReadingDto);
    return this.readingRepository.save(reading);
  }
  async findAll(): Promise<Reading[]> {
    return this.readingRepository.find();
  }
  async findOne(id: number): Promise<Reading> {
    const reading = await this.readingRepository.findOneBy({ id
});
    if (!reading) {
      throw new Error(`Reading with ID ${id} not found`);
    }
    return reading;
  }
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду провайдера сутності зчитування

Окрім цього, всі базові складові однієї сутності об'єднує модуль. В них вказуються контролери, провайдери та схеми які належать одній сутності. Саме в цьому і полягає модульність архітектурного підходу NestJS, де кожен елемент має узагальнюючий блок, який об'єднує всі частини що належать одній сутності. Також програма має корінний модуль, який об'єднує всі інші модулі для подальшої взаємодії основної програми з ними. Модулі оголошуються декоратором «@Module», в якому задаються імпорт, експорт, а також усі компоненти, що належать цьому модулю, це можуть бути як контролери і провайдери, так і інші модулі.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Клієнтська частина системи моніторингу

Кінцевий користувач не має доступу до взаємодії з автономним пристроєм чи сервером, тому для отримання інформації з віддалених систем передбачено клієнтський веб сайт. Це комплексна структура, яка використовує різні технології для отримання, обробки, відображення та візуалізації інформації. На веб сайті передбачено мапу точок зчитування, графіки з параметрами, фільтрацію за датами, перегляд історії й інші типи відображення даних.

Готовий веб сайт повинен відповідати певним критеріям та вимогам, а саме повинен бути: зручним, швидким, адаптивним, інформативним, зрозумілим, простим та візуально приємним. Для цього необхідно використати знання у дизайні й розробці інтерфейсів, у швидкодії та інтерактивності. Ідеальним варіантом для побудови інтерактивної веб сторінки є бібліотека React.js. Вона дозволяє побудову інтерактивних веб застосунків, також є загально прийнятим стандартом у веб розробці. React цінують за його зручність, легку масштабованість, простоту розробки та тестування. Він використовує JSX формат, який дозволяє написання HTML розмітки в коді JavaScript. Це дозволяє легко використовувати як розмітку, так і логіку одному файлі, що відкриває можливість модульності, завдяки створенню окремих компонентів.

Для побудови сторінки з використанням бібліотеки React є кілька методів, але в даному випадку було обрано фреймворк Next.js, який дозволяє створення веб застосунків на базі React, додаючи статичний та серверний рендеринг. Окрім цього Next використовує потужний інструмент для роутингу «App Router». Це технологія, яка використовується для побудови маршрутів, або шляхів на веб сайті. З його допомогою можна легко і ефективно створювати окремі сторінки, що спрощує розробку, виключаючи необхідність у встановленні сторонніх інструментів.

Веб сайт передбачає використання трьох сторінок, а саме головної сторінки із актуальною інформацією, сторінки історії із архівними даними з вибором дати, а також сторінки із загальною інформацією. Головна сторінка

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

містить різноманітні віджети для візуалізації даних, вона є найважливішою, адже дозволяє перегляд найсвіжіших даних, окрім того містить всі попередні дані за поточний день. На сторінці з історією знаходяться інші віджети, а також є можливість вибору та перегляду даних за попередні дати, окрім цього можна задати діапазон дат до 7 днів, для порівняння та аналізу. Ця сторінка важлива, адже науковці, ентузіасти та інші люди, котрих цікавить якість поверхневих вод, можуть легко переглянути дані з минулого, для розширених досліджень, прогнозів й таке інше.

Всі компоненти на веб сайті було вручну розроблено, попередньо для них створено дизайн, вибрано загальну тему, колірну схему та візуальний настрій. Це повинні бути нейтральні кольори з високим контрастом, акценти повинні різко виділятися на фоні, а текст мати достатній контраст згідно з настановами про доступність веб-контенту [23]. Усі шрифти також повинні бути простими, зручними для читання, без використання лишніх візуальних елементів [23].

3.4.1 Головна сторінка

Зазвичай точкою входу на сайт є сторінка із відображенням даних у реальному часі, тому відправляються запити до сервера для надання інформації про останні актуальні дані. Така сторінка містить мапу із усіма точками моніторингу, віджети, що відображають значення кожного параметра, а також картки із середнім показником якості води, та точками екстремуму в обраному населеному пункті. Вигляд сторінки показано на рисунку 3.8.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

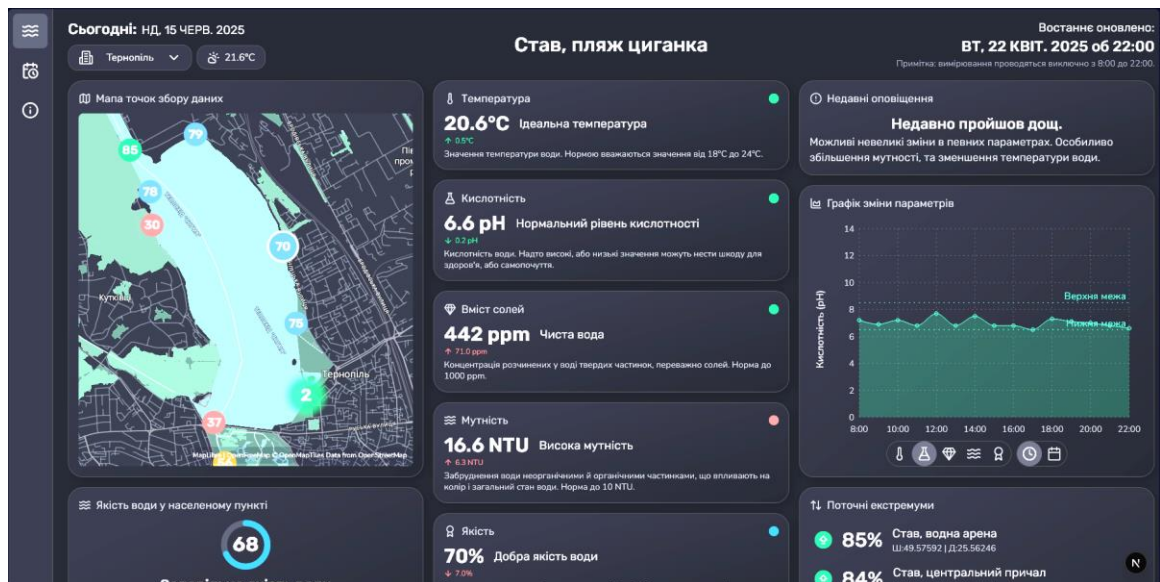


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд головної сторінки

Для того, щоб відобразити все клієнту необхідно створити кілька запитів до сервера, починаючи із отримання інформації про наявні населені пункти та точки із встановленими системами моніторингу. Кожна з цих точок має свою назву та координати, щоб користувач міг легко розрізняти та знаходити необхідні йому точки. Для зручності вибору населеного пункту було додано випадаюче меню із переліком можливих поселень (рис. 3.9). Окрім цього в цьому блоці вказано поточну дату та погоду.

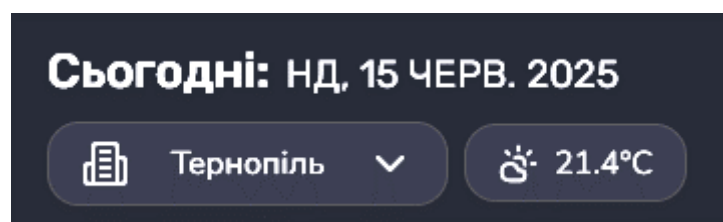


Рисунок 3.9 – Вигляд блоку вибору населеного пункту

Наступним кроком відправляється запит для отримання інформації про усі точки на обраному населеному пункті. Ця інформація вже містить не тільки точні координати усіх точок, а й останні актуальні дані, та середні показники за населеним пунктом. На основі цієї інформації будується майже вся сторінка, починаючи з інтерактивної мапи (рис. 3.10). На ній користувач має доступ до

усіх точок моніторингу, на яких відображається останній індекс якості води. При натисканні на таку точку сторінка змінюється, замінюючи всі попередні дані на інформацію про обрану точку.

Мапа побудована з використанням бібліотеки MapLibre створеною спеціально для React. Завдяки ній було створено повністю кастомізовану карту на основі OpenStreetMap, що є проєктом із відкритим кодом, який виступає провайдером інформації для мапи. Окрім цього, за допомогою інструментів MapLibre було створено власний стиль для мапи. Це робиться для візуальної уніфікації із виглядом інших компонентів. Кастомний стиль мапи використовує кольори та шрифти які вже є на веб сайті, що візуально приєднує мапу до сторінки. Якщо б не було цих стилів – карта виглядала просто вирізаною із загальної картини, вона б не враховувала темну тему сайту, й візуально різко вирізнялась і кидалась в очі.

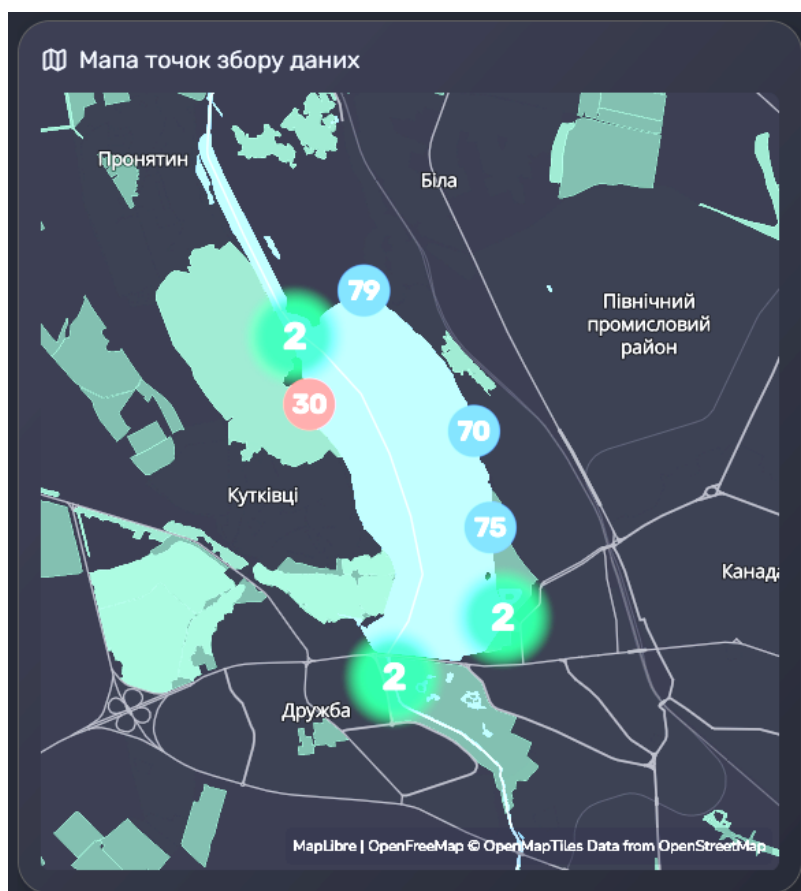


Рисунок 3.10 – Вигляд інтерактивної мапи із точками

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Інші віджети на сторінці включають картки із параметрами моніторингу, а саме температурою, кислотністю, мутністю, електропровідністю та індексом якості води. Кожна із цих карток показує актуальні дані, та зміну відносно попереднього значення. Візуалізація зміни відбувається за допомогою невеликого індикатора, який показує значення, а також чи була зміна позитивна чи негативна в залежності від параметра. Біля кожного параметра вказано його поточний стан, наприклад, якщо рівень мутності високий – це буде напряду вказано. Це дозволяє користувачеві просто й зрозуміло для нього отримати необхідну інформацію про стан показника.

Оскільки не кожен користувач розуміється у впливі цих показників на якість води, окрім невеликого опису стану, також є кольорова індикація в зрозумілих кольорах. Кожен параметр має різні значення за який колір змінюється, та зазвичай при ідеальних значеннях – це зелений колір, при нормальних – синій, при поганих – жовтий, та при критичних – червоний. Також для більшого розуміння картки містять короткий опис кожного параметра, де вказано нормальні значення, а також описується його вплив на якість поверхневих вод. Вигляд частини карток із параметрами показано на рисунку 3.11.

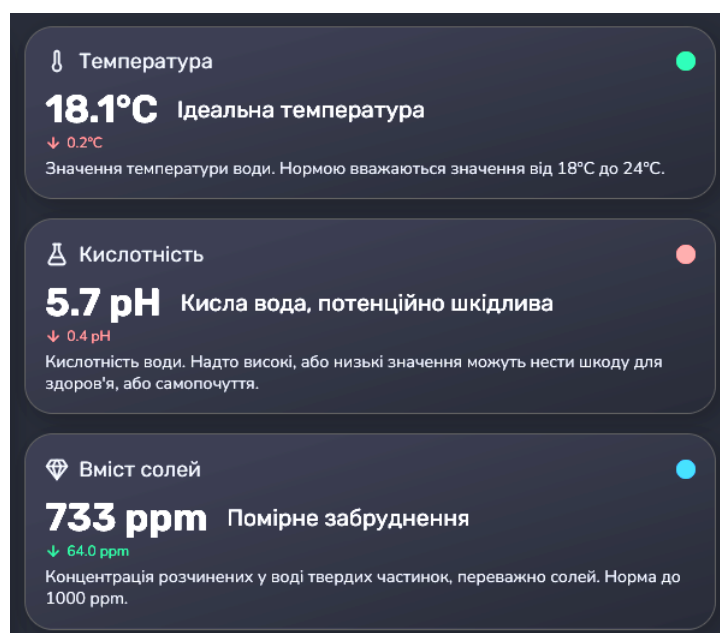


Рисунок 3.11 – Вигляд частини карток із параметрами

Також головна сторінка містить віджет із об'єднаними в один компонент графіками усіх параметрів. Віджет передбачає вкладки для кожного параметра, де показується його зміна за поточну добу. При наведенні на графік можна побачити точне значення параметра, а також час зчитування. Окрім цього на графіках вказано межі норм для кожного параметра. На рисунку 3.12 показано вигляд компоненту на вкладці кислотності. Для створення графіків використовується бібліотека Recharts, яка спеціально побудована для візуалізації даних і роботи з React. Це дозволяє зручно й ефективно створювати графічні візуалізації у вигляді лінійних графіків, стовпчикових діаграм та інших методів відображення даних.

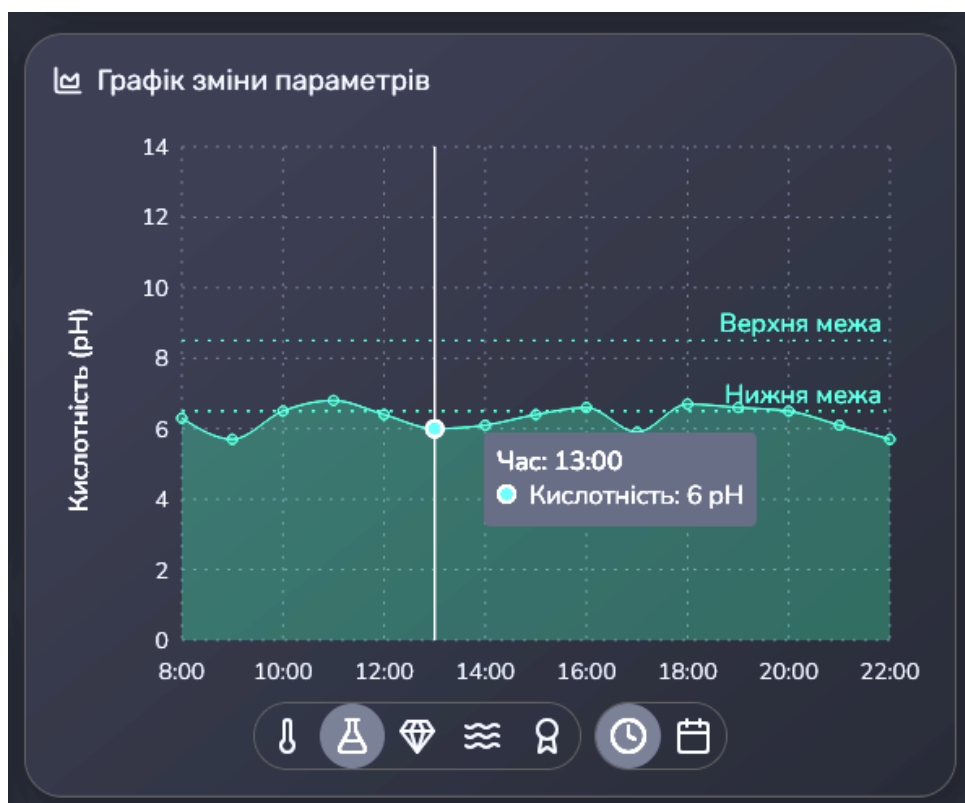


Рисунок 3.12 – Вигляд картки із графіком кислотності

Сторінка містить ще три віджети, одним із них є картка із недавніми оповіщеннями (рис. 3.13), яка відображає певні події, які можуть мати вплив на параметри. Для прикладу, якщо недавно пройшов дощ – про це буде сказано, а також описано вплив опадів на параметри якості води.

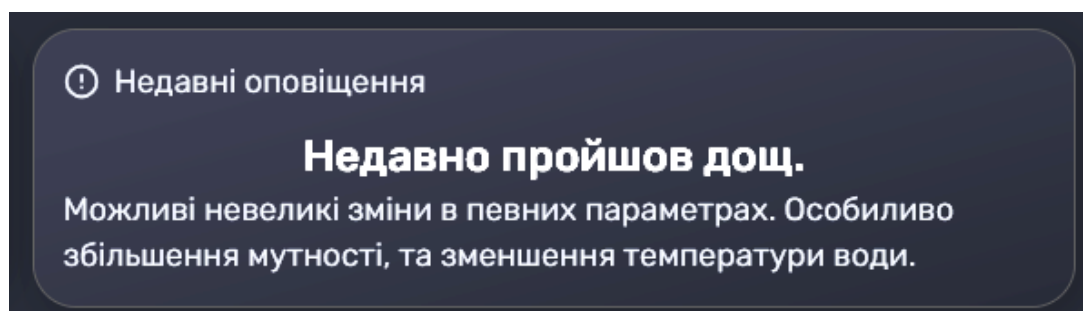


Рисунок 3.13 – Вигляд картки недавніх оповіщень

Наступним віджетом є середня якість води у населеному пункті, яка узагальнює та усереднює усі індекси якості води у точках в обраному поселенні. На ній також пояснено сам параметр індексу якості води, вказано які значення є нормальними, а які є шкідливими для здоров'я людини (рис. 3.14). Також як і в інших компонентах на картці застосовано колірну індикацію та опис статусу води у вигляді короткого рядка.

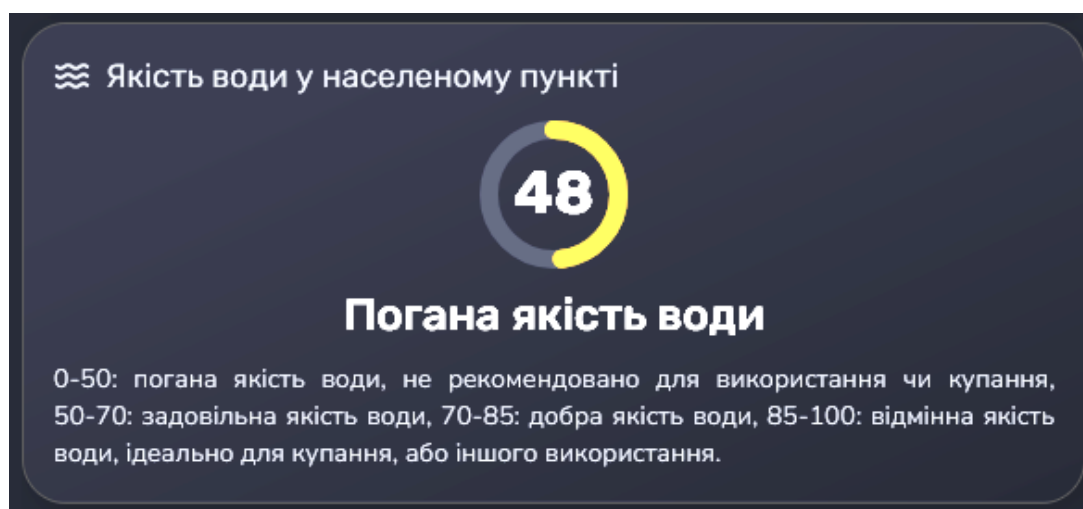


Рисунок 3.14 – Вигляд картки середньої якості води

Останньою картою є візуалізація поточних екстремумів (рис. 3.15), яка показує від 1 до 2 найкращих та найгірших точок за індексом якості води у регіоні на даний момент, разом із їх координатами. Якщо в населеному пункті більше 4-х точок моніторингу – буде відображено по 2 точки із найкращим та найгіршим станом, якщо ж до 4 – по 1 точці для мінімуму і максимуму.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

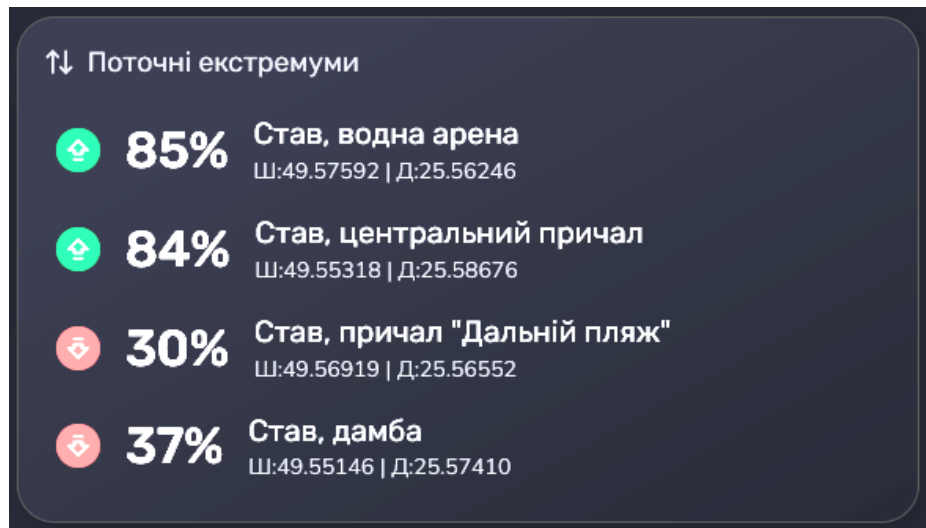


Рисунок 3.15 – Вигляд картки поточних екстремумів

Всі ці віджети формують єдину сторінку, яка повністю виконує поставлені задачі та дотримується всіх вимог. Адаптивність на сторінці реалізована завдяки її двовимірній структурі. Всі компоненти розташовані у сітці, яка змінює кількість стовпців в залежності від розмірів екрану – на великих екранах стовпців 3, при зменшенні їх стає 2, а на мобільних пристроях всі компоненти розташовуються в однин стовпець.

3.4.2 Сторінка історії

Сторінка історії містить інші віджети й працює за трохи іншим принципом. Головним методом для вибору точок на цій сторінці є випадаючі меню для вибору населеного пункту, та конкретної точки. Це зроблено через іншу специфіку сторінки. Головна сторінка орієнтована на широке коло користувачів, яким потрібно швидко отримати актуальну інформацію про стан води. На рисунку 3.16 показано загальний вигляд сторінки історії.

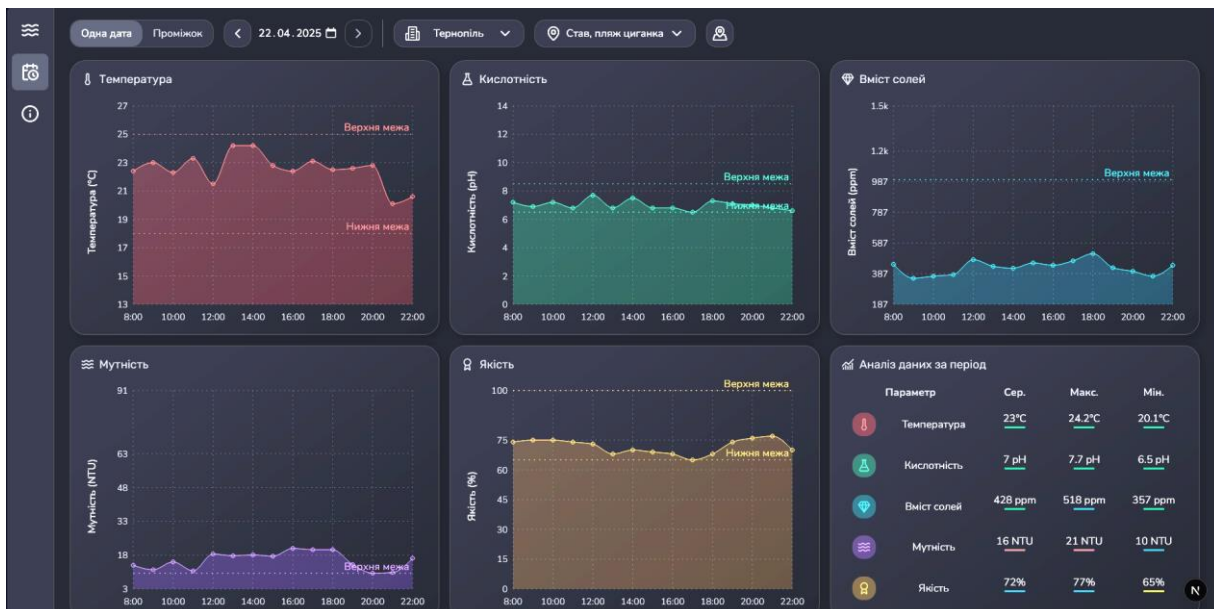


Рисунок 3.16 – Загальний вигляд сторінки історії

Сторінка історії призначена для глибокого аналізу даних та їх змін, де важлива робота з конкретними датами та точками. Коли користувач знає точну назву точки, обрати її зі списку значно простіше, ніж шукати на великій карті. При цьому, для гнучкості, збережено і можливість вибору на мапі через випадające меню.

Сторінка історії містить керування для зміни дати перегляду, а також можливість змінити вибір конкретної дати на діапазон дат до 7 днів. Візуалізація даних на цій сторінці відбувається за допомогою окремих графіків для кожного параметра, а також інших віджетів. Причина, по якій графіки було розділено, як і раніше полягає в напрямку використання сторінки, це дає можливість візуально оцінити різні параметри в певний час, та порівняти їх на ходу.

Також на сторінці є віджет для аналізу даних за обрану дату чи період (рис. 3.17). Він відображає середні, максимальні та мінімальні значення усіх параметрів, а також їхній стан. Всі параметри підписані, мають власні кольори для простоти розрізнення та зменшення візуального шуму, мають колірні індикації та описи стану.



Рисунок 3.17 – Вигляд картки аналізу даних

Останнім віджетом є картка виявлених аномалій (рис. 3.18), яка також показує дані в залежності від обраної дати чи періоду. Він використовує різноманітні статистичні методи для виявлення різких змін параметрів, їх відхилень, виходів за межі норм та інших аномалій. Також вказано точний час, параметр, його значення та стан із кольоровою індикацією.

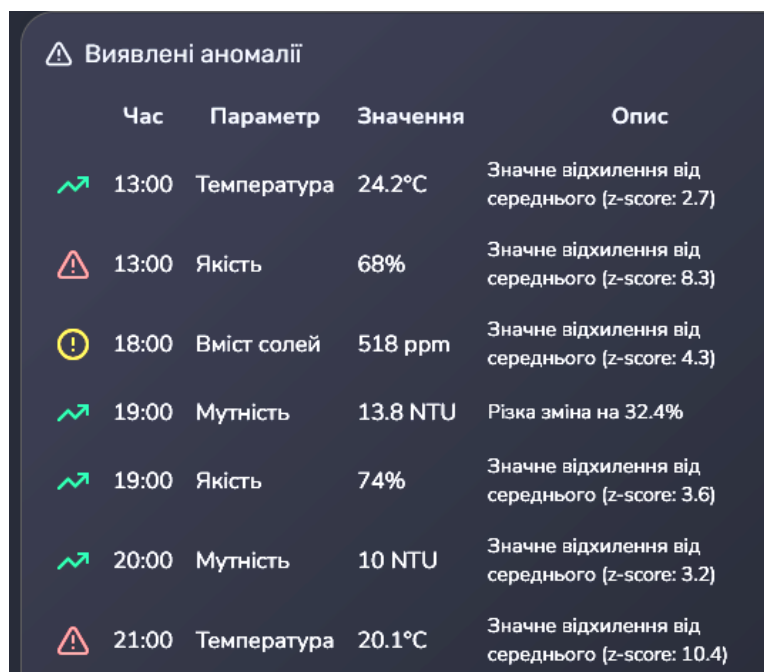


Рисунок 3.18 – Вигляд картки виявлених аномалій

Завдяки цим віджетам, а також елементам керування сторінка повністю підпадає під описані раніше вимоги. Вона є чіткою, структурованою, більш технічною, але при цьому інформативнішою ніж головна сторінка. Ці дві сторінки в сукупності формують чітку сепарацію для користувачів, для когось необхідний зручний й швидкий перегляд поточних даних, а комусь важлива можливість точного вибору дати, точки моніторингу, та перегляд усіх параметрів відразу.

3.4.3 Сторінка інформації

Останньою частиною веб сайту є сторінка із повною інформацією про проєкт (рис. 3.19). Вона включає різні візуалізації, описи, списки та пояснення. Сторінка має два основних призначення: дати користувачеві ідею, та пояснити мету проєкту, та просвітлити інформацію на його роботу та параметри моніторингу. На ній також повинна знаходитись кнопка із закликом до дії – переходу на головну сторінку. Вона повинна бути візуально приємною та активно приваблювати користувачів як до ознайомлення із проєктом, так і до взаємодії із головною панеллю моніторингу.

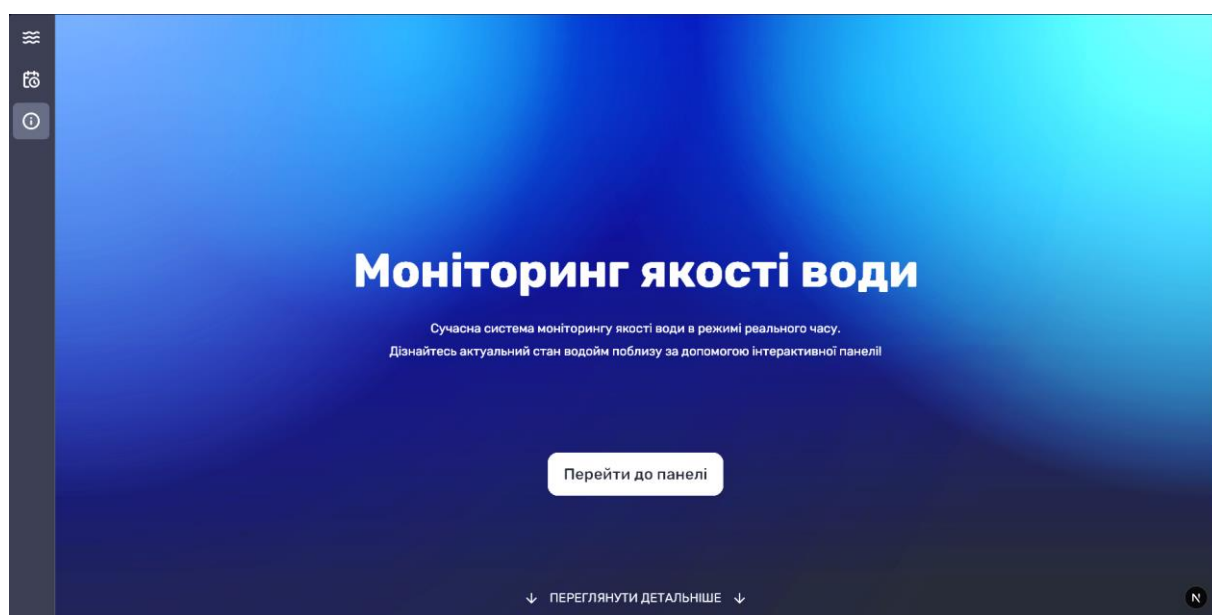


Рисунок 3.19 – Початковий вигляд сторінки інформації

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тут міститься чимало інформації, починається все з загального огляду проєкту. В цьому блоці вказано мету проєкту, актуальність проблеми та цільову аудиторію веб сайту. Також там наведено кількість населених пунктів, точок моніторингу, записів даних у системі, та кількість оновлень даних на добу. Це дає загальне поняття про проєкт в цілому, що може зацікавити та познайомити користувача із системою. На рисунку 3.20 показано вигляд блоку огляду проєкту.

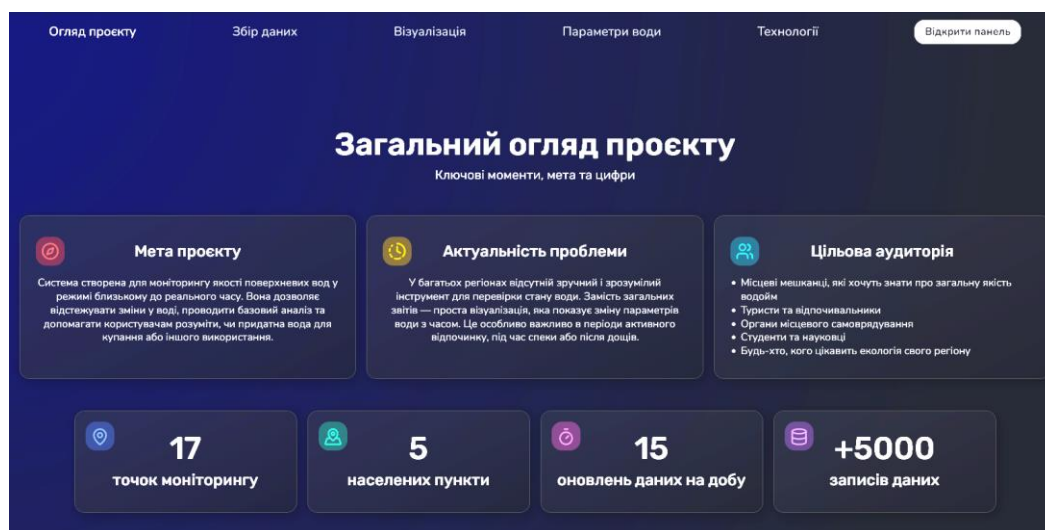


Рисунок 3.20 – Вигляд блоку із загальним оглядом

Наступним блоком є покроковий огляд роботи системи (рис. 3.21). Тут вказано всі 6 етапів її роботи. Кожен крок чітко розписаний, користувачеві стає зрозумілим принцип та алгоритм роботи системи.

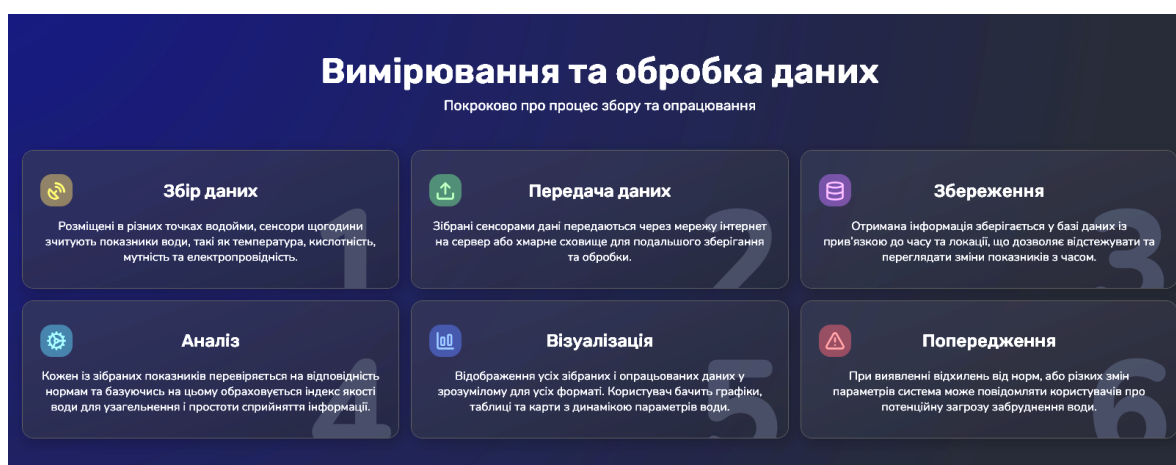


Рисунок 3.21 – Вигляд блоку опису роботи системи

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також на сторінці є блок де коротко пояснюється робота клієнтської частини проєкту, де пояснено обрані методи візуалізації (рис. 3.22).



Рисунок 3.22 – Вигляд блоку опису візуалізації

Великим елементом є повний огляд обраних параметрів моніторингу (рис. 3.23). Тут вказано нормальні значення для кожного параметра якості води, й обширний опис кожного із них, що дає розуміння про вплив цих параметрів на стан води та здоров’я людини.

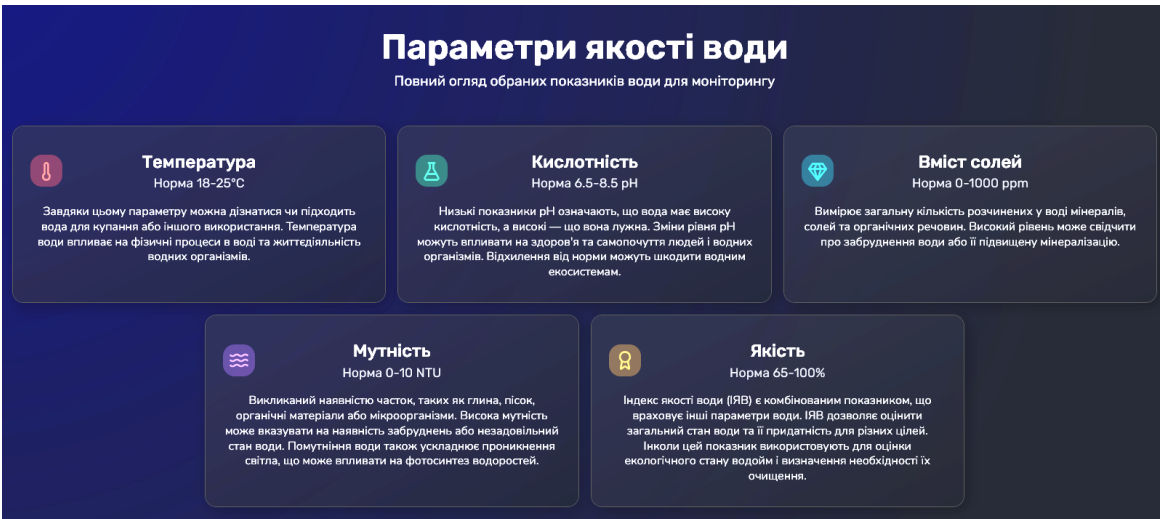


Рисунок 3.23 – Вигляд блоку опису параметрів моніторингу

Останнім блоком на сторінці є опис обраних технологій при розробці проєкту, де описано та обґрунтовано кожен вибір (рис. 3.24).



Рисунок 3.24 – Вигляд блоку опису обраних технологій

Всі ці блоки в сукупності будують єдину сторінку, яка дає чітке розуміння роботи проекту. Тут пояснено покрокову роботу системи, обґрунтовано вибір параметрів моніторингу та технологій при розробці. Сторінка також є повністю адаптивною, при зменшенні розмірів екрану всі картки у блоках починають зміщуватись на наступний рядок, в кінцевому результаті будуючи єдиний стовпець.

3.4.3 Огляд клієнтської програми

Весь клієнтський проєкт розташований в одній директорії, структура якої побудована із використанням кращих практик та стандартів у галузі веб розробки. Всі частини зручно розділені на окремі папки, кожна з яких містить елементи, які в сукупності утворюють готовий веб сайт.

Головною директорією є src яка містить усі наступні папки для роутингу, компонентів, типів, допоміжних функцій, а також конфігурації, стилів та хуків. Хуки це функції які відкривають доступ до можливостей React у функціональних компонентах, які раніше були доступні лише в класових компонентах.

Папка із компонентами містить усі окремі частини із яких потім складаються веб сторінки, вони виступають в ролі будівельних блоків. Компоненти відокремлюють частини сайту в окремі логічні блоки з можливістю повторного використання будь якого із них.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клієнтська частина також використовує й інші технології для коректної роботи та організації даних. Для зберігання певної інформації, такої як обрані користувачем: населений пункт, точка та дата, використовується бібліотека Zustand. Вона дозволяє створення так званих сховищ даних, які можуть використовуватись в різних компонентах. В React для цього є вбудований функціонал – Context API, та він поступається в зручності та простоті Zustand.

Оскільки майже вся інформація на сайті поступає із сервера, для отримання даних використовується TanStack Query. Це дуже потужна бібліотека для React, для роботи із запитамі і не тільки. Вона має вбудоване автоматичне кешування запитів, автоматичне керування запитамі та мутаціями. Можливості цієї бібліотеки дуже широкі, та для даного проєкту вона використовується через свою зручність, кешування та можливість простого повторного використання кешованих даних між компонентами. Це зменшує навантаження на сервер, пришвидшує роботу веб сайту, завдяки чому досягається максимальний комфорт для користувача при взаємодії зі сторінками.

Для стилізації компонентів використовуються CSS-модулі. Це окремі файли для кожного елемента, які зберігаються в його папці, вони дозволяють побудову справді модульного веб сайту з використанням компонентного підходу. При використанні звичайних CSS файлів імена стилів не можуть повторюватись, модулі виправляють це, дозволяючи кожному компоненту мати класи стилів з однаковими назвами.

Прикладом такого підходу є головна сторінка сайту, яка використовує єдиний компонент для об'єднання інших елементів. В ньому відбувається ініціалізація, а саме початкові запити до сервера, та додані усі блоки-віджети для головної сторінки.

Всі інші компоненти зі списку побудовані за схожим чи ідентичним принципом усі вони містять логіку та повертають HTML розмітку із CSS стилями. Також програма містить окремі допоміжні функції для форматування дати, часу, виявлення аномалій та задання статусів в залежності від значення параметрів.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Оцінка технологічного процесу, щодо умов електробезпеки, безпеки

У рамках виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу якості поверхневих вод. Аналіз питань безпеки життєдіяльності та охорони праці є невід'ємною частиною проєктування будь-якої системи, оскільки головним пріоритетом є збереження життя та здоров'я людини в процесі її експлуатації. Всі рішення, що стосуються безпеки, прийняті з урахуванням чинного законодавства, зокрема Закону України «Про охорону праці» [24]. Технологічний процес охоплює етапи розробки, монтажу, експлуатації та технічного обслуговування. Кожен з цих етапів має свої потенційно небезпечні та шкідливі фактори, які необхідно проаналізувати.

Апаратною складовою системи є пристрій, який встановлюється безпосередньо на об'єкті моніторингу – біля водойми. Оцінка його безпеки є першочерговим завданням. Електрична схема пристрою живиться від сонячної панелі з вихідною напругою 6 В та літій-іонного акумулятора з номінальною напругою 3.7 В. Усі електричні кола пристрою є низьковольтними і працюють з постійним струмом та напругою, що не перевищує 12 В. Відповідно до «Правил улаштування електроустановок», така напруга є безпечною для життя людини в нормальних умовах експлуатації [25]. Це виключає ризик ураження електричним струмом персоналу під час монтажу чи обслуговування приладу.

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи електронних компонентів у схемі використано спеціалізовані модулі. Контролер заряду керує процесом зарядки акумулятора від сонячної панелі, унеможливаючи його перезаряд та глибокий розряд, що запобігає деградації та потенційному займанню літій-іонних акумуляторів.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розробив		Белей К.В.			Безпека життєдіяльності та охорона праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
Перевірив		Тиш Є.В.					64
Консульт.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41	
Н. Контр.		Луцик Н.С.					
Затвердив		Осухівська Г.М.					

Підвищуючий перетворювач на та лінійний стабілізатор забезпечують стабільну напругу живлення для мікроконтролера та датчиків, запобігаючи виходу компонентів із ладу через коливання напруги. Усі компоненти та провідники надійно ізолювані та розміщені у герметичному корпусі, що забезпечує захист від потрапляння вологи та пилу, що є критично важливим при експлуатації на ділянках під відкритим небом.

Процес монтажу та технічного обслуговування пристрою передбачає виконання робіт на відкритій місцевості, поблизу водойм. Це створює ризики, не пов'язані з електрикою, такі як можливість падіння на слизькій поверхні [26]. Персонал, що виконує ці роботи, забезпечений антистатичним спецодягом – халатами, та захисним взуттям із неслизькою підошвою. Також враховано погодні умови – роботи не проводяться під час дощу, грози чи сильного вітру. Загальні принципи аналізу та мінімізації таких ризиків описані в роботах з охорони праці та безпеки життєдіяльності [26].

Серверна частина системи функціонує віддалено, фізично розташовуючись у центрі обробки даних. Це означає, що питання пожежної безпеки, безперебійного електропостачання, заземлення та кондиціонування серверного обладнання вирішуються провайдером послуг дата-центру згідно з існуючими галузевими стандартами передбаченими у ПУЕ [25] та Законі України «Про охорону праці» [24]. Пряма взаємодія розробника чи оператора системи з цим обладнанням відсутня.

Програмна частина системи, що включає сервер та клієнтський веб сайт, розроблялася та підтримується з одного робочого місця. На відміну від кінцевих користувачів сайту, які можуть заходити на нього з будь-яких пристроїв і на нетривалий час, робота розробника та адміністратора системи пов'язана з тривалим перебуванням за комп'ютером. Ця діяльність включає написання коду, налаштування сервера та бази даних, тестування, розгортання та подальшу підтримку системи. Таке робоче місце класифікується як робота з дисплеєм, тому його організація є важливим аспектом охорони праці [26].

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними шкідливими факторами при такій роботі є значне навантаження на зір, статичне навантаження на м'язи спини та шиї, а також нервово-емоційне напруження. Для мінімізації їхнього впливу робоче місце розробника було організоване відповідно до відповідно до Наказу Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [27]. Це включає налаштування правильного освітлення, використання ергономічного крісла, розташування монітора на оптимальній відстані та висоті, а також дотримання режиму праці та відпочинку.

Проведений аналіз в кваліфікаційній роботі показує, що основні ризики для здоров'я і безпеки в рамках проєкту зосереджені не в публічній частині системи, а в процесах її створення та підтримки. Це фізичні ризики під час монтажу апаратного пристрою та ергономічні ризики для розробника, пов'язані з тривалою роботою за комп'ютером. Дотримання відповідних норм електробезпеки та пожежної безпеки, а також правил охорони праці, дозволяє ефективно керувати цими ризиками [27].

4.2 Загальні вимоги безпеки до обладнання та технологічних процесів

Для забезпечення безпечних умов експлуатації розробленої комп'ютеризованої системи моніторингу якості води, її обладнання та пов'язані з нею технологічні процеси спроектовані з урахуванням фундаментальних вимог охорони праці та безпеки життєдіяльності. Головна мета цих вимог – запобігання нещасним випадкам, виникненню професійних захворювань та мінімізація впливу шкідливих факторів на персонал [28].

Вимоги до апаратного забезпечення, зокрема до пристрою, стосуються в першу чергу конструкційної та електричної безпеки. Оскільки пристрій експлуатується на відкритому повітрі, застосовується корпус зі ступенем захисту, що гарантує повний захист від пилу та вологи згідно з принципами ПУЕ [25]. Особлива увага приділена пожежній безпеці: вимога полягає у використанні

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

спеціалізованого контролера заряду із захистом від перезаряду та короткого замикання акумулятора.

При конструюванні пристрою враховано й інші аспекти, такі як корпус пристрою, який виготовляється з ударостійкого матеріалу, що не займається – ABS-пластику. Це створює додатковий бар'єр на випадок внутрішнього перегріву компонентів. Усі кабельні вводи та з'єднання для зовнішніх датчиків виконані з використанням герметичних роз'ємів, що унеможлиблює потрапляння вологи на контактні групи та виникнення коротких замикань. Ключова роль контролера заряду полягає у відсіканні струму при досягненні акумулятором максимальної напруги, що є головним заходом для запобігання тепловому розгону та займанню літій-іонних елементів.

Технологічні процеси монтажу, обслуговування, а також розробки та адміністрування системи, регламентуються з метою забезпечення безпеки. До виконання робіт з монтажу та обслуговування допускаються лише особи, які пройшли інструктаж з охорони праці. Роботи проводяться у світлий час доби, за сприятливих погодних умов та з використанням засобів індивідуального захисту, зокрема взуття на неслизькій підшві та захисних рукавичок.

Ключові вимоги безпеки стосуються процесу розробки та подальшого адміністрування системи, оскільки ця робота вимагає тривалої взаємодії з комп'ютером. Робоче місце розробника повністю відповідає нормам Наказу Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [27]. Це означає не лише ергономіку меблів та правильне розташування монітора, але й суворе дотримання режиму праці та відпочинку. Для запобігання зоровій втомі та проблемам з опорно-руховим апаратом встановлюються обов'язкові регламентовані перерви тривалістю 10-15 хвилин після кожної години безперервної роботи за дисплеєм [28].

Окрім режиму праці, санітарні норми [27] висувають чіткі вимоги до фізичного середовища на робочому місці. Освітлення має бути комбінованим, раціональним, з пріоритетом на використання природного світла. Робочий стіл

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та монітор розташовуються так, щоб уникнути відблисків на екрані, які створюють додаткове навантаження на очі. Також регламентуються параметри мікроклімату: оптимальна температура повітря в приміщенні у холодний період року повинна становити 20-22°C, відносна вологість – 40-60% [27].

Таблиця 4.1 – Перелік потенційних небезпечних факторів та заходів безпеки

Об'єкт	Небезпечний фактор	Захід безпеки	Джерело
Пристрій	Ураження електричним струмом	Застосування напруги (до 12 В)	Наказ Міненерговугілля № 476 від 21.07.2017
	Займання акумулятора	Використання контролера заряду з захистом	Технічна документація
	Вплив вологи та пилу	Герметичний корпус	—
Обслуговування	Падіння через ковзання	Використання спецвзуття, оцінка робочої поверхні	Андрейчук Н. І., Гнатюк Л. П., Коваль О. М. Охорона праці
	Несприятливі погодні умови	Проведення робіт за сприятливих умов	—
Розробка	Зорова втома, напруга	Дотримання режиму праці та відпочинку	Наказ Мінсоцполітики № 207 від 14.02.2018
	Порушення опорно-рухового апарату	Ергономічна організація робочого місця	Наказ Мінсоцполітики № 207 від 14.02.2018

Комплексний підхід до виконання вимог безпеки на всіх етапах життєвого циклу системи – від конструювання обладнання до його монтажу та тривалого процесу адміністрування дозволяє створити безпечний та надійний програмно-апаратний продукт. Дотримання зазначених норм і правил є обов'язковою умовою для впровадження та підтримки розробленої системи [24].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу якості поверхневих вод. Проведено аналіз існуючих методів моніторингу якості води, який дозволив виявити їхні основні недоліки – високу вартість та відсутність можливості отримувати дані в режимі реального часу. Це підтвердило доцільність та актуальність розробки систем, що автоматично збирають дані про стан поверхневих вод та функціонують у режимі реального часу.

Система побудована на основі трьох тісно пов'язаних компонентів, а саме: автономного вимірювального пристрою на базі мікроконтролера, серверної програми із базою даних для збереження й обробки інформації та клієнтського веб сайту для візуалізації отриманих даних. Такий підхід до архітектури системи дозволив побудувати рішення, яке має високу гнучкість, масштабованість та модульність при розробці та адмініструванні.

Апаратна частина системи реалізована на базі мікроконтролера ESP32 із модулем для безпроводної передачі даних. Для збору показників про якість поверхневих вод, а саме вимірювання: температури, кислотності, мутності та електропровідності, використовуються відповідні датчики що підключені до мікроконтролера. Пристрій також передбачає використання годинника реального часу, для точного збереження моменту зчитування. Максимальний час автономної роботи системи становить близько 10 днів, це досягається за допомогою продуманої системи живлення з використанням сонячної панелі, акумулятора, а також контролера заряду та кількох перетворювачів напруги.

Програмне забезпечення системи включає мікропрограму для мікроконтролера, яка передбачає збір, обробку, формування пакетів даних та відправку їх на сервер. Також система використовує серверну програму, яка побудована на NestJS для опрацювання запитів, обробки та зберігання інформації у базі даних PostgreSQL. Для доступу користувача до зібраних даних створено інтерактивний веб-сайт із Next.js на основі React, який дозволяє

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перегляд візуалізованої інформації у зручному та зрозумілому вигляді для будь-якої категорії людей.

В цілому система дозволяє користувачам вільно переглядати дані, зібрані у точках на водоймах, де розташовано пристрої моніторингу. Система забезпечує простий й швидкий перегляд та аналіз даних про необхідні користувачу точки на водних ресурсах, для планування їх подальшого використання. Робота системи в режимі близького до реального часу відкриває можливості оперативного реагування на зміни в стані поверхневих вод, що зменшує ризики для здоров'я населення чи функціонування водних екосистем.

В підсумку, готова система для моніторингу якості поверхневих вод повністю покриває усі висунуті вимоги. Вона є автономною, оперативною, зручною, гнучкою, масштабованою та доступною, що дозволяє створення повноцінної мережі таких пристроїв, які будуть об'єднані одним веб інтерфейсом. Також система є простою в подальшій доробці та адмініструванні. Готове рішення дозволяє подальший розвиток для досліджень в напрямку якості поверхневих вод, або практичного впровадження такої системи. Усі поставлені задачі кваліфікаційної роботи було виконано, а основна мету із розробки повноцінного апаратно-програмного рішення було досягнуто.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Міністерство охорони здоров'я України.
3. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). URL: <https://www.standardmethods.org/> (дата звернення: 10.03.2025).
4. Погребенник В. Д., Клим Г. І., Бордун І. М., Пташник В. В., Паламар А. М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.
5. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
6. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.
7. Ларіоник Р.В., Луцик Н.С., Паламар А.М. Система для моніторингу якості атмосферного повітря на базі IoT. Матеріали IX науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 116.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

8. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

9. ESP32-WROOM-32E & ESP32-WROOM-32UE Datasheet. Espressif Systems. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf (дата звернення: 18.03.2025).

10. Deep Sleep & Other Power Saving Modes for ESP32. Espressif Systems. URL: https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/esp-idf/en/release-v4.4/api-reference/system/sleep_modes.html (дата звернення: 18.03.2025).

11. Turbidity sensor (SKU: SEN0189). DFRobot Wiki. URL: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189 (дата звернення: 22.03.2025).

12. Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino (SKU: SEN0244). DFRobot Wiki. URL: https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244 (дата звернення: 22.03.2025).

13. PH Sensor PH4502C Composite Electrode Datasheet. URL: <https://www.supmeaauto.com/uploads/2101/ph-sensor-datasheet.pdf> (дата звернення: 22.06.2025).

14. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Analog Devices, Inc. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> (дата звернення: 23.03.2025).

15. DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal Datasheet. Analog Devices, Inc. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf> (дата звернення: 23.03.2025).

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Transient Voltage Suppressor Diodes. Short-Form Brochure. Bourns Technical Library 2025. URL: https://www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/chip-diodes/publications/bourns_tvs_diode_short_form.pdf (дата звернення: 26.03.2025).

17. Guidelines for Reliable 1-Wire Networks. Analog Devices / Maxim Integrated. URL: <https://www.analog.com/en/app-notes/an/an148.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

18. I2C Communication Protocol: Understanding I2C Primer, PMBus, and SMBus. Analog Devices. URL: <https://www.mouser.com/pdfDocs/A468903i2c-communication-protocol-understanding-i2c-primer-pmbus-and-smbus.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

19. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovskyy R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.

20. SQL (TypeORM). NestJS Documentation. URL: <https://docs.nestjs.com/recipes/sql-typeorm> (дата звернення: 14.04.2025).

21. Databases. NestJS Documentation. URL: <https://docs.nestjs.com/techniques/database> (дата звернення: 15.04.2025).

22. Working with PostgreSQL. TypeORM Documentation. URL: <https://typeorm.io/data-source-options#postgres--cockroachdb-data-source-options> (дата звернення: 16.04.2025).

23. Web Content Accessibility Guidelines 2.1. W3C Recommendation. URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/> (дата звернення: 24.04.2025).

24. Закон України «Про охорону праці» : від 21 лист. 2002 р. № 229-IV // Відомості Верховної Ради України. 2003. № 2. Ст. 10.

25. Про затвердження Правил улаштування електроустановок : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21 лип. 2017 р. № 476. Київ, 2017.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Атаманчук П. С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 312 с.

27. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями : наказ Міністерства соціальної політики України від 14 лют. 2018 р. № 207 // Офіц. вісн. України. 2018. № 36. Ст. 1334.

28. Андрейчук Н. І., Гнатюк Л. П., Коваль О. М. та ін. Охорона праці : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 288 с.

29. Тиш Є.В., Шалапай Р.І. Типи вимог до комп'ютерних систем і методи їх виявлення. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 437.

30. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.

31. Тиш Є.В. Узагальнений алгоритм синтезу компонентів комп'ютерних систем на основі мікропрограмних автоматів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 36 (75), № 1, 2025. С. 247-253.

32. Tysh Ie. Approach and method of evaluation of the general reliability indicator of computer systems. International scientific journal "Computer systems and information technologies", 3 (5). Khmelnytskyi National University. 2021. P.74-80.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“___” _____ 2025 р

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ
ВОД

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., доц. Тиш Є.В.

_____ Белей К.В.

«___» _____ 2025 р.

«___» _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.191.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Белей К.В.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Основне призначення системи — це автоматизований збір, передача, зберігання та візуалізація даних про ключові показники якості поверхневих вод у режимі реального часу. Система надає інструменти для оперативного контролю та аналізу стану водних об'єктів.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу якості поверхневих вод в режимі реального часу.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна забезпечувати безперервну та автономну роботу вимірювальних пристроїв протягом тривалого часу. Вона має гарантувати

надійну доставку даних від пристрою до сервера та надавати користувачам інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс, доступний через стандартний браузер.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система моніторингу повинна складатись із трьох основних компонентів:

- автономного пристрою;
- серверної програми ;
- клієнтського веб сайту.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Зв'язок між вимірювальним пристроєм та сервером повинен здійснюватися за допомогою стандартного бездротового протоколу Wi-Fi. Передача даних має відбуватися за протоколом HTTP у структурованому форматі. Взаємодія між клієнтським застосунком та сервером повинна бути реалізована через API.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система моніторингу передбачає два режими функціонування:

- нормальний режим роботи;
- режим роботи за відсутності мережевого з'єднання.

Нормальний режим функціонування передбачає повний цикл роботи системи – починаючи зі збору даних про якість поверхневих вод до відправки на сервер.

При відсутності мережевого з'єднання система повинна зберігати дані зчитування у пам'яті пристрою. При відновленні з'єднання та переході до нормального режиму роботи – всі збережені дані повинні відправлятися на сервер.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Система повинна містити засоби для самодіагностики. Серверна частина повинна вести детальні логи запитів, помилок та важливих системних подій для полегшення виявлення та усунення несправностей.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Архітектура системи спроектована є модульною, що створює великі перспективи для розвитку. У майбутньому можливе розширення переліку датчиків, інтеграція алгоритмів машинного навчання для прогнозування та виявлення аномалій, а також розробка мобільного застосунку для сповіщень.

3.2 Показники призначення

Ключовими показниками призначення є періодичність вимірювань, точність отриманих даних у межах похибки сенсорів та час доступності системи. Затримка між вимірюванням даних та їх відображенням на сайті не повинна перевищувати кількох хвилин.

3.2.1 Вимоги до надійності

Автономний пристрій повинен бути розміщений у міцному, захищеному від погодних умов корпусі із відповідним ступенем захисту. Програмне забезпечення має містити механізми обробки помилок, зокрема повторні спроби передачі даних у разі відсутності зв'язку. Для серверної частини обов'язковим є регулярне резервне копіювання бази даних.

3.3 Вимоги до безпеки

Система повинна бути безпечною для персоналу та навколишнього середовища. Це досягається шляхом використання виключно низьковольтного живлення до 12В постійного струму у вимірювальному

пристрої, що унеможливилює ураження електричним струмом. Під час монтажу та технічного обслуговування персонал зобов'язаний дотримуватися правил безпеки при роботі поблизу води та використовувати засоби індивідуального захисту. Робоче місце розробника та адміністратора системи повинно відповідати нормам для запобігання проблем, пов'язаним із тривалою роботою за комп'ютером.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Експлуатація системи є переважно автоматизованою, а контроль здійснюється через веб сайт. Технічне обслуговування повинно проводитись періодично і включати очищення датчиків та сонячної панелі, перевірку герметичності корпусу та стану акумулятора. Конструкція пристрою передбачає модульність, що дозволяє легко замінювати окремі компоненти під час ремонту. Зберігання компонентів системи має відбуватися в сухих, вентильованих приміщеннях при стандартних для електроніки температурах.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Передача даних між усіма компонентами системи повинна здійснюватися з використанням протоколу шифрування для захисту від перехоплення та модифікації. Доступ до бази даних та панелі адміністрування сервера має бути захищений надійними паролями та обмежений за принципом мінімальних привілеїв. Серверний застосунок повинен бути захищеним від поширених вразливостей. Будь-які функції керування системою повинні вимагати автентифікації та авторизації.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Для гарантії збереження інформації у випадку не передбачуваних ситуацій на сервері, система повинна виконувати регулярне автоматичне

резервне копіювання бази даних. Резервні копії мають зберігатися на фізично віддаленому носії. Використання журналу транзакцій в системі управління базами даних дозволить відновити дані до останнього узгодженого стану після збою.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна використовувати стандартизовані та відкриті протоколи і формати даних для забезпечення сумісності. Апаратна частина має будуватися на основі поширених, а не пропрієтарних компонентів. Програмне забезпечення розробляється з використанням популярних фреймворків з відкритою документацією для спрощення підтримки та подальшого розвитку.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

Система повинна виконувати такі основні функції: автоматичне вимірювання температури, рН, мутності та електропровідності води; періодична передача даних на сервер; надійне зберігання всієї історії вимірювань; надання користувачам доступу до інформації через інтерактивний веб сайт з візуалізацією даних.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

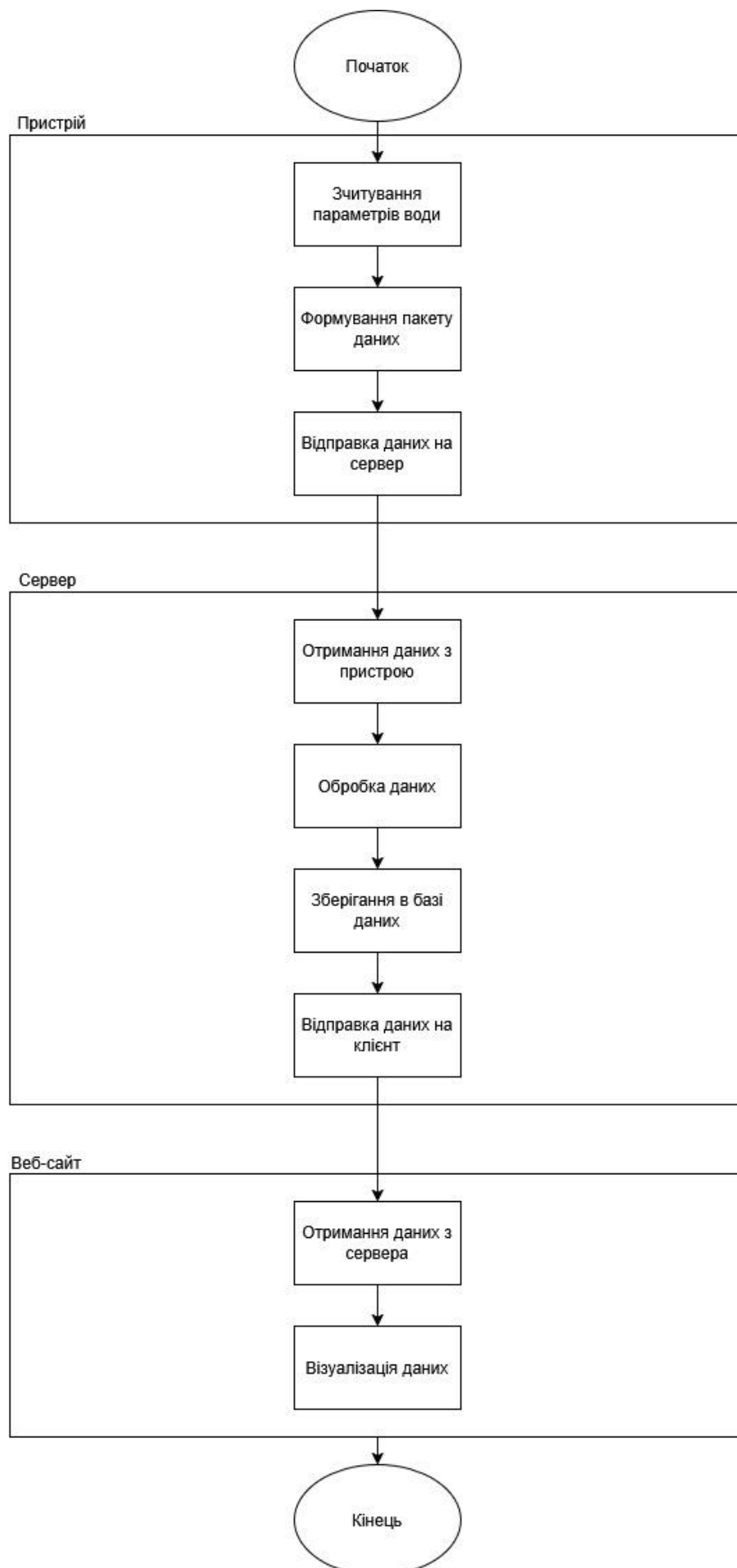
№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01.2025р. – 02.02.2025р.
2	Аналіз технічного завдання	03.02–12.03
3	Розробка та створення апаратної частини	13.03–12.04
4	Розробка та створення програмної частини	13.04–25.04
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	26.04–14.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	15.05–08.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	09.06 –15.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025р. – 22.06.2025р.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.2025р.

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Блок-схема алгоритму програми системи моніторингу



Додаток В

Перелік елементів

Перш. викорис.	Довід. №	Поз. позначення	Найменування				Кіл.	Примітка		
		BT1	Акумулятор INR18650-30Q, 3.6 В, 3000 мА·г				1			
		F1	Полімерний запобіжник (Polyfuse), 1 А, 6 В				1			
		SC1	Сонячна панель 6 В, 2 Вт				1			
			Конденсатори							
		C1, C3, C5	Електролітичний 10 мкФ, 16 В, ±20%				3			
		C2, C4, C6	Керамічний конденсатор 0.1 мкФ, 50 В, X7R				3			
Підпис і дата	Інв. № докл.		Діоди							
		D1, D2	Шотткі-діод 1N5817, 1 А, 20 В				2			
		D3	TVS-діод P6KE15A, 15 В, двонаправлений				1			
			Резистори							
		R1	Резистор 4.7 кОм, 0.25 Вт, ±1%				1			
		R2, R4	Резистор 10 кОм, 0.25 Вт, ±1%				2			
		R3, R5	Резистор 15 кОм, 0.25 Вт, ±1%				2			
Підпис і дата	Інв. № докл.		Мікросхеми							
		U1	CN3791				1			
		U2	MT3608, 2 А				1			
		U3	AMS1117-3.3, 1 А				1			
		U4	ESP32-DEVKITC-32E				1			
		U5	DS18B20				1			
		U6	RTC DS3231M				1			
		U7	Analog TDS Sensor Module				1			
		U8	Turbidity Detection Sensor Module				1			
Підпис і дата	Інв. № докл.	U9	PH4502C				1			
Інв. № ориг.	Підпис і дата						КС КРБ 123.191.00.00 ПЕ			
		Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система моніторингу якості поверхневих вод Перелік елементів			
		Розроб.	Белей К.В.							
		Перевір.	Тини Є.В.							
		Консульт.								
		Н. контр.	Луцик Н.С.							
		Зав. каф.	Осухівська Г.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			