

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МІСЬКІВ Артем Сергійович

**Мікроконтролерна система вимірювання та передавання
даних про стан водних ресурсів / Microcontroller system
for measuring and transmitting data on the state of water
resources**

спеціальність: 174 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ – 42/1
А.С. Міськів

Науковий керівник
к.т.н., доцент О. Б. Ящик

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«____» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
МІСЬКІВ Артем Сергійович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Мікроконтролерна система вимірювання та передавання даних про стан
водних ресурсів / Microcontroller system for measuring and transmitting data on the
state of water resources.

керівник роботи к.т.н., доцент О.Б. Ящик

затверджені наказом по університету від 01 грудня 2025 р. № 894

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Фізичні та хімічні характеристики води.

2. Системи контролю та моніторингу стану водних ресурсів.

3. Методи та засоби вимірювання параметрів води.

4. Технології передавання даних у системах моніторингу.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Аналіз предметної області та постановка задачі.

2. Проєктування мікроконтролерної системи моніторингу стану водних
ресурсів.

3. Реалізація мікроконтролерного модуля системи вимірювання та
передавання даних про стан водних ресурсів.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Архітектура проєктованої МС.

2. Схема мережевої реалізації проєктованої системи.

3. Структурна схема системи.

4. Схема алгоритму роботи МС моніторингу якості води.

5. Принципова електрична схема проєктованої системи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	О.Б. Ящик к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	О.Б. Ящик к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	О.Б. Ящик к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Проведення аналізу предметної області та постановка задачі	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Проектування мікроконтролерної системи моніторингу стану водних ресурсів	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Реалізація мікроконтролерного модуля системи вимірювання та передавання даних про стан водних ресурсів	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	01.05. 2026р. – 25.05.2026р.	

Студент

(підпис)

А.С. Міськів

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент О.Б. Ящик

АНОТАЦІЯ

Міськів А.С. Мікроконтролерна система вимірювання та передавання даних про стан водних ресурсів. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі досліджено основні показники якості води, методи та засоби їх вимірювання. Проаналізовано сучасні системи моніторингу водних ресурсів та визначено їхні функціональні особливості. Розроблено архітектуру мікроконтролерної системи, структурну та принципову електричну схеми, обґрунтовано вибір способу передачі даних і апаратних компонентів. Реалізовано алгоритм роботи системи, що забезпечує автоматизований збір, обробку та передавання даних про параметри водного середовища.

ANNOTATION

Miskiv, A.S. Microcontroller system for measuring and transmitting data on the state of water resources. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor» with the title 174 Automation and Computer-Integrated Technologies and Robotics. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work investigates the main water quality indicators, as well as the methods and means of their measurement. Modern water resource monitoring systems are analyzed, and their functional features are identified. The architecture of a microcontroller-based monitoring system is developed, including its structural and electrical schematic designs, and the selection of data transmission methods and hardware components is substantiated. An operational algorithm is implemented, ensuring automated data acquisition, processing, and transmission of water quality parameters.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	8
1.1 Значення моніторингу та показники якості водних ресурсів.....	8
1.2 Методи та засоби вимірювання параметрів води.....	13
1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу водних ресурсів.....	19
1.4 Постановка задачі дослідження.....	24
2. ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	27
2.1 Розробка архітектури проєктованої системи.....	27
2.2 Розробка структурної схеми мікроконтролерної системи збору та передачі даних.....	31
2.3 Обґрунтування вибору компонентів системи.....	34
2.3.1 Вибір способу передачі даних.....	34
2.3.2 Вибір апаратних компонентів.....	37
3. РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ПРО СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	44
3.1 Розробка алгоритму роботи.....	44
3.2 Розробка принципової електричної схеми.....	47
3.3 Апаратна реалізація системи.....	49
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Міськів А.С.			Мікроконтролерна система вимірювання та передавання даних про стан водних ресурсів / Microcontroller system for measuring and transmitting data on the state of water resources	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Яцик О. Б.					4	57
Консульт.		Яцик О. Б.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

pH – водневий показник;

PLC – мікроконтролер;

TDS – загальна мінералізація;

WQI – індекс якості води;

БД - база даних

БСК – біохімічне споживання кисню;

ВР – водні ресурси;

ГДК – гранично допустима концентрація;

МКМ - мікроконтролерного модуля

МС – мікроконтролерна система;

ПЗ - програмне забезпечення;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ХСК – хімічне споживання кисню.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкий розвиток промисловості, урбанізації та зростання антропогенного навантаження зумовлює особливу актуальність проблеми раціонального використання та контролю стану водних ресурсів (ВР). Вода є одним із ключових природних ресурсів, що забезпечує життєдіяльність населення, функціонування промислових підприємств, аграрного сектору та екосистем у цілому. Погіршення якості води, забруднення природних водойм та неефективне використання водних ресурсів створюють суттєві екологічні та соціально-економічні ризики.

Традиційні методи контролю параметрів води часто передбачають періодичний відбір проб та їх лабораторний аналіз, що є трудомістким, малоефективним та не дозволяє оперативно реагувати на зміну показників. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні автоматизованих систем моніторингу, здатних забезпечити безперервне вимірювання, обробку та передавання даних.

Розвиток мікроконтролерних технологій, сенсорних систем та засобів безпроводного зв'язку відкриває широкі можливості для створення ефективних, енергоощадних і відносно недорогих систем моніторингу та контролю стану ВР, які дозволяють здійснювати динамічне вимірювання ключових параметрів, а також передавати отримані дані до центрів обробки або хмарних сервісів для їх подальшого аналізу.

Використання мікроконтролерних систем (МС) у складі комплексів екологічного контролю дозволяє автоматизувати збір, попередню обробку та трансляцію даних. Це сприяє підвищенню оперативності прийняття рішень, зниженню експлуатаційних витрат на моніторинг та покращенню екологічної безпеки. Тому розробка МС вимірювання та передавання даних про стан ВР є актуальним науково-практичним завданням, що відповідає сучасним вимогам автоматизації, цифровізації та екологічного контролю.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка МС для автоматизованого вимірювання фізико-хімічних показників води та організації каналу

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

безпроводного передавання отриманих даних для дистанційного моніторингу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести дослідження показників якості води та методів їх вимірювання;
- проаналізувати існуючі рішення для моніторингу стану ВР;
- обґрунтувати вибір компонентів МС, що забезпечать її стабільну роботу та необхідну продуктивність;
- розробити структурну схему проєктованої МС;
- реалізувати алгоритми збору, обробки та передавання даних.

Об’єкт дослідження - процеси моніторингу та аналізу параметрів ВР.

Предмет дослідження – мікроконтролерна система вимірювання та передавання даних про стан ВР.

Методи дослідження – аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, системний аналіз, алгоритмічне проєктування, програмна реалізація мікроконтролерної системи, експериментальне дослідження та технічне оцінювання ефективності роботи системи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці МС вимірювання та передавання даних про стан ВР, яка забезпечує безперервний моніторинг їх параметрів, підвищує оперативність контролю та може бути використана для екологічного оцінювання якості води в природних і штучних водоймах.

Публікації. Міськів А.С., Давлетова А.Я. Мікроконтролерна система збору даних для екологічного моніторингу водойм // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Значення моніторингу та показники якості водних ресурсів

Водні ресурси – це всі запаси поверхневих і підземних вод, зосереджені у водних об'єктах, річках, озерах, морях, океанах, льодовиках та водоносних горизонтах, які використовуються або можуть бути використані в господарській діяльності людини [1-4].

Незважаючи на те, що вода покриває близько 71% поверхні Землі, розподіл її запасів є дуже нерівномірним (рисунок 1.1) [2].

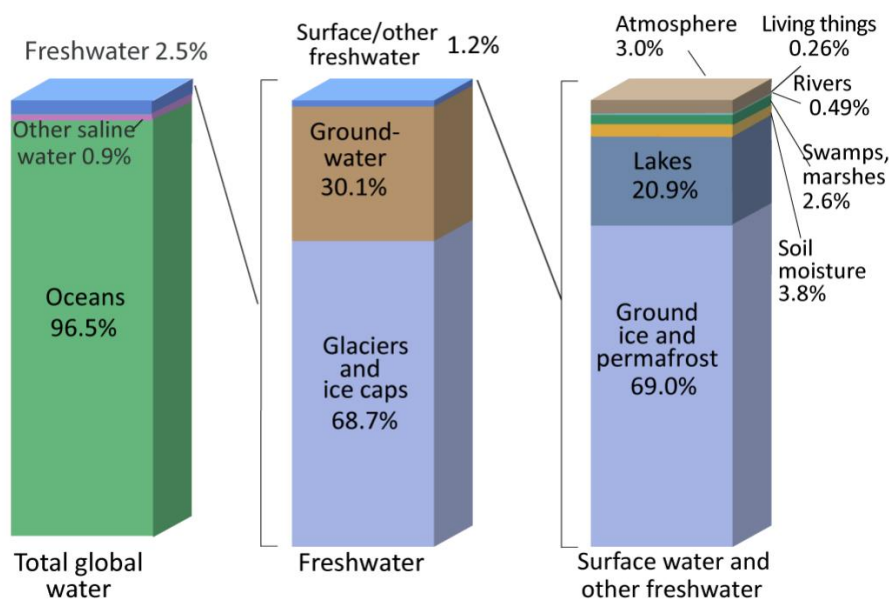


Рисунок 1.1 – Розподіл водних ресурсів на Землі

Як видно з рисунка 1.1, близько 97,4 % усього об'єму води припадає на солону воду Світового океану, і лише 2,5% становить прісна вода. Проте більша частина прісної води 68,7% зосереджена у льодовиках та сніговому покриві, що робить її фактично недоступною для прямого використання. В результаті, людство залежить від менш ніж 1% загальних запасів прісної води, що знаходяться в льодовиках, річках, озерах та підземних резервуарах. Основним джерелом для більшості систем водопостачання є системи річок, що становить лише близько 0,49% від загального об'єму поверхневих прісних вод.

Окрему проблему становить не лише фізична наявність води, а й її якість

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

та доступність. На рисунку 1.2 наведено розподіл питної води на планеті Земля [3].

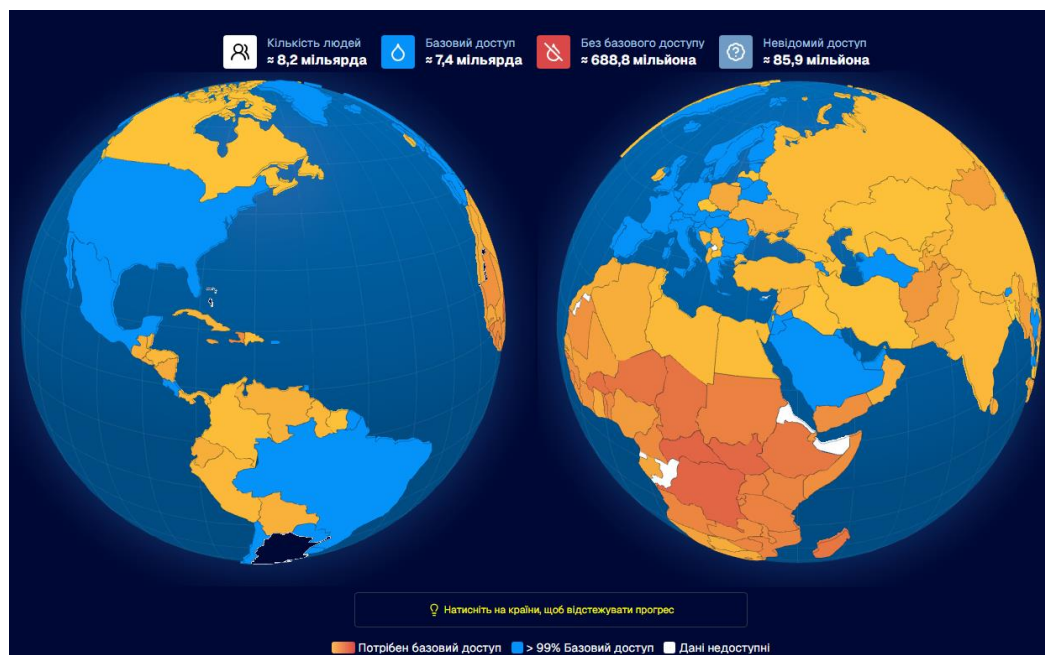


Рисунок 1.2 - Карта доступу населення до питної води

Значення води для існування екосистем і життя людини неможливо переоцінити. Вона є універсальним розчинником, середовищем існування для мільйонів видів організмів та ключовою ланкою у глобальному циклі теплообміну. Для людини вода є стратегічним ресурсом, необхідним для підтримки фізіологічних потреб, забезпечення санітарних норм, функціонування промисловості, енергетики та агропромислового комплексу. Стрімка урбанізація та техногенне навантаження призводять до вичерпання доступних джерел, що робить контроль та моніторинг їх стану життєво необхідним [5-7].

Моніторинг стану ВР - це процес безперервних спостережень, збирання, обробки та аналізу інформації про характеристики водних об'єктів. Його головне значення полягає у своєчасному виявленні негативних тенденцій, прогнозуванні змін та прийнятті управлінських рішень для запобігання екологічних катастроф [8-10].

Якість води визначається сукупністю її фізичних, хімічних та біологічних характеристик (рисунок 1.3), що встановлюють її придатність для конкретних видів водокористування [11-14].

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9



Рисунок 1.3 – Показники якості водних ресурсів

До фізичних параметрів відносяться характеристики, які можна виміряти фізичними методами, зокрема оптичними, термічними, механічними, тощо, без проведення складних хімічних реакцій:

- температура;
- мутність;
- колір;
- запах та смак;
- електропровідність.

Температура це основний параметр, який визначає інтенсивність хімічних, біохімічних та фізичних процесів у ВР. Вона впливає на в'язкість води, розчинність газів, зокрема кисню, та швидкість корозійних процесів у технічних системах.

Мутність характеризує наявність у воді завислих часток, наприклад піску, мулу, глини, органічних сполук, тощо. Висока мутність не лише погіршує естетичні властивості води, а й може бути індикатором бактеріального забруднення, оскільки мікроорганізми часто адсорбуються на твердих частках. Даний показник як правило вимірюється за допомогою нефелометричного методу, що базується на характеристиках розсіювання світла.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

Колір води це показник, що залежить від вмісту в ній гумусових речовин та сполук заліза Запах та смак визначаються органолептично, проте можуть опосередковано оцінюватися через хімічний склад.

Хімічні характеристики відображають склад розчинених у воді речовин. Більшість з даних показників вимірюються за допомогою спеціальних електродів або шляхом додавання реагентів. Вони включають:

- кислотність або лужність середовища;
- загальна мінералізація та електропровідність;
- вміст розчиненого кисню;
- жорсткість;
- вміст специфічних речовин.

Водневий показник (рН) відображає концентрацію вільних іонів водню у воді та визначає її кислотно-лужні властивості. Значення рН впливає на біологічну активність флори та фауни, а також на ефективність процесів водоочищення. Для більшості природних вод нормативне значення рН знаходиться в межах 6,5–8,5. Відхилення від норми часто свідчить про скидання промислових стічних вод.

Загальна мінералізація (Total Dissolved Solids, TDS) є показником сумарного вмісту розчинених у воді речовин таких як солі, метали, мінерали (хлориди, сульфати, карбонати). Висока мінералізація надає воді гіркого або солоного присмаку та робить її непридатною для багатьох технологічних процесів. Вимірювання TDS зазвичай базується на кондуктометричному методі, зокрема вимірюванні питомої електропровідності.

Жорсткість води визначається концентрацією іонів кальцію та магнію. Висока жорсткість призводить до утворення накипу в теплообмінному обладнанні та побутових приладах, що є критичним для систем промислової автоматизації.

Вміст у воді розчиненого кисню є критичним показником для життя аквакультур та оцінки самоочищення водойм. Показник окиснюваності води (ХСК та БСК) характеризує вміст у воді органічних і легкоокиснюваних неорганічних речовин. Висока окиснюваність вказує на забруднення стічними

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

водами або продуктами розпаду органіки, що призводить до дефіциту кисню у водоймі. Вміст специфічних речовин може включати такі компоненти як нітрати, нітроти, важкі метали, нафтопродукти, для виявлення яких необхідні спеціалізовані селективні датчики.

В Україні вимоги до якості води регулюються ДСанПіН 2.2.4-171-10. Основні нормативні показники для питної води наведено в таблиці 1.1 [12].

Таблиця 1.1 — Основні нормативні показники якості води

Показник	Одиниця вимірювання	Нормативне значення
pH	од. pH	6,5 – 8,5
Мутність	НОМ (або мг/дм³)	≤ 1,0 (0,58)
Загальна мінералізація (TDS)	мг/дм³	≤ 1000 (1500)
Загальна жорсткість	ммоль/дм³	≤ 7,0
Температура	°C	залежно від сезону / техпроцесу

Біологічні та бактеріологічні показники характеризують наявність у воді живих організмів та їхню життєдіяльність:

- бактеріальне забруднення вказує на наявність кишкової палички патогенних мікроорганізмів та вірусів;
- гідробіологічні показники показують наявність певних видів водоростей або найпростіших, що є біоіндикаторами стану водойми;
- біохімічне споживання кисню (БСК) виявляє кількість кисню, що необхідна мікроорганізмам для окиснення органічних сполук у воді.

Фізичні та хімічні характеристики найкраще піддаються вимірюванню за допомогою сучасних технічних засобів автоматизації (ТЗА). Біологічні показники на даному етапі розвитку технологій здебільшого залишаються задачею лабораторних досліджень через складність їхнього оперативного вимірювання компактними датчиками

З точки зору автоматизації та розробки автоматизованих систем,

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

ключовими є параметри, які піддаються прямому або опосередкованому вимірюванню за допомогою електронних сенсорів. Аналіз характеристик водних ресурсів показує, що для побудови ефективної мікроконтролерної системи моніторингу пріоритетними є параметри, які мають найбільший вплив на екосистему та можуть бути оцифровані за допомогою доступних засобів вимірювальної техніки. Саме тому для розробки мікроконтролерної системи в подальшому розглядатимуться такі характеристики водних ресурсів як температура, pH, TDS, мутність.

1.2 Методи та засоби вимірювання параметрів води

Контроль якості водних ресурсів базується на визначенні комплексу фізичних та хімічних параметрів, що характеризують її придатність для різних сфер використання [14-19]. Для цього застосовуються різні методи визначення якості води (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Класифікація методів визначення якості води

Серед методів вимірювання характеристик виділяються наступні [16, 17]:

– органолептичні - базуються на чутливості органів чуття людини та дозволяють визначити запах, колір, смакові характеристики;

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

- фізико-хімічні є найбільш точними, проводяться для визначення компонентів води таких як рН, жорсткість, TDS, вміст елементів;
- мікробіологічні (наявність бактерій, паразитів) Використовуються для визначення загальної токсичності води за допомогою живих організмів;
- хімічні методи дозволяють виявити органічні і неорганічні елементи у воді, наприклад метали, нафтопродукти, тощо;
- радіологічні забезпечують виявлення навантаження радіоактивних елементів.

З технічної точки зору, засоби вимірювання параметрів води можна класифікувати на (рисунок 1.5):

- портативні (польові) прилади (експрес-аналіз), наприклад портативні рН-метри, мутноміри, портативні фотометри, переносні лабораторії, тест-системи, лакмусові папери;
- лабораторне обладнання (високоточні дослідження), наприклад спектрофотометри, атомно-абсорбційні спектрометри, іономіри;
- вбудовані системи (ІоТ та автоматизований моніторинг).



Рисунок 1.5 – Класифікація засобів контролю якості води

Тенденції розвитку вимірювальних систем пов'язані з інтеграцією сенсорів у мікроконтролерні платформи та використанням технологій ІоТ для безперервного моніторингу параметрів якості ВР.

Для автоматизованого контролю стану водних об'єктів використовують сукупність методів, які за принципом отримання аналітичного сигналу

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

поділяються на основні групи:

- електрохімічні – базуються на вимірюванні електричних параметрів (потенціалу, сили струму), що виникають у результаті хімічних процесів на межі поділу фаз «електрод - розчин»;
- оптичні – ґрунтуються на взаємодії електромагнітного випромінювання з досліджуваним водним середовищем;
- електропровідні (кондуктометричні) – засновані на вимірюванні питомої електричної провідності розчину, яка прямо залежить від концентрації в ньому іонів солей;
- термічні – використовують залежність фізичних властивостей матеріалів від температури.

Вибір конкретного методу для МС моніторингу обумовлений необхідністю отримання стабільного електричного сигналу (напруги, струму або частоти), приданого для оцифрування.

Одним із ключових показників якості води є водневий показник рН, що характеризує кислотно-лужний баланс середовища. Основним методом його визначення є потенціометричний метод, який базується на вимірюванні електрорушійної сили електродної системи, що залежить від концентрації іонів водню у розчині. У сучасних системах застосовуються рН-метри зі скляними електродами, які забезпечують високу точність вимірювання та можливість автоматичної температурної компенсації. Окрім цього, для експрес-аналізу можуть використовуватись індикаторні тест-смужки або колориметричні методи, однак вони мають значно меншу точність.

Важливим фізичним параметром є мутність води, яка визначається оптичними методами. Принцип вимірювання мутності ґрунтується на аналізі розсіювання або поглинання світлового потоку зваженими частинками, що знаходяться у воді. Для цього застосовуються турбідиметри або оптичні датчики, що реєструють інтенсивність світла після проходження через досліджуване середовище. Значення мутності є непрямим показником концентрації механічних домішок і використовується для оцінки прозорості води.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Температура води вимірюється за допомогою контактних сенсорів, таких як терморезистори або цифрові температурні датчики. У сучасних автоматизованих системах контролю параметрів широко використовуються цифрові датчики, які здійснюють перетворення температури у цифровий сигнал безпосередньо в корпусі сенсора, що підвищує точність та стійкість до перешкод.

Для оцінки мінералізації води використовується показник загального вмісту розчинених твердих речовин (TDS). Його вимірювання здійснюється на основі електропровідності розчину, оскільки кількість розчинених солей прямо впливає на здатність води проводити електричний струм. Для цього застосовуються TDS-метри або кондуктометри, які визначають провідність між електродами, зануреними у воду, і перераховують її у значення мінералізації.

Окрім зазначених параметрів, у практиці контролю якості води також застосовуються фотометричні та колориметричні методи для визначення концентрації хімічних речовин, таких як нітрати, хлор, залізо та інші домішки. Дані методи базуються на зміні оптичних властивостей розчину після додавання реагентів і дозволяють здійснювати селективний аналіз окремих компонентів.

Для забезпечення точності вимірювань параметрів води використовуються фізико-математичні залежності, що лежать в основі роботи сенсорів [19-21]. Потенціометричний метод використовується для вимірювання рН та базується на вимірюванні різниці потенціалів між вимірювальним (скляним) електродом та електродом порівняння. Оскільки електрорушійна сила електродної системи лінійно залежить від активності іонів водню, сигнал перетворюється на значення рН за допомогою рівняння Нернста

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{H^+},$$

де E – виміряна електрорушійна сила;

E_0 – стандартний електродний потенціал;

R – універсальна газова стала;

T – температура;

F – число Фарадея;

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

a_{H^+} – активність іонів водню.

Це рівняння лежить в основі визначення рН через електричний сигнал сенсора.

Кондуктометричний метод визначає здатність води проводити електричний струм, що прямо пропорційно концентрації розчинених солей (електролітів) і описується залежністю:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

або у вигляді:

$$\sigma = k \cdot C,$$

де σ – електропровідність;

ρ – питомий опір;

C – концентрація іонів;

k – коефіцієнт пропорційності.

На практиці значення TDS обчислюється як пропорційна функція електропровідності. Для вимірювання використовується датчик електропровідності, який вимірює опір між двома електродами.

Нефелометричний метод базується на вимірюванні інтенсивності світла, розсіяного під кутом 90° завислими частками у воді. Чим вища концентрація часток, тим більше світла потрапляє на фотоприймач. Мутність води визначається за законом ослаблення світла в середовищі

$$I = I_0 e^{-\alpha l},$$

де I_0 – початкова інтенсивність світла;

I – інтенсивність після проходження через середовище;

α – коефіцієнт поглинання/розсіювання;

l - довжина шляху світла.

Цей принцип використовується в оптичних датчиках мутності.

Терморезистивний метод використовує залежність електричного опору матеріалу від температури.

Окрім окремих фізико-хімічних параметрів, у сучасних системах моніторингу якості води широко застосовуються інтегральні показники, що

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

дозволяють комплексно оцінити стан водного середовища. До таких показників належать індекс якості води (WQI), клас якості води, ступінь забруднення та придатність води до використання.

WQI є узагальненим показником, що визначається на основі зваженого поєднання кількох параметрів якості води, таких як рН, температура, мутність, вміст розчинених речовин тощо. Узагальнена формула розрахунку WQI має вигляд:

$$WQI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot q_i,$$

де w_i – ваговий коефіцієнт i -го параметра;

q_i – нормалізоване значення показника якості;

n – кількість параметрів.

На основі значення WQI визначається клас якості води, від «відмінної» до «непридатної», що дозволяє спростити інтерпретацію результатів моніторингу.

Ступінь забруднення води може оцінюватися за перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) окремих компонентів, а також за інтегральними коефіцієнтами забруднення. Придатність води до використання визначається відповідністю нормативним значенням для конкретних цілей, наприклад питне водопостачання, технічне використання, сільське господарство тощо.

Системи вимірювання параметрів води базуються на поєднанні різних фізичних принципів, зокрема електрохімічних, оптичних та електропровідних методів. Використання інтегральних показників, таких як WQI, дозволяє здійснювати комплексну оцінку стану водних ресурсів, що є важливим для побудови ефективних автоматизованих систем моніторингу.

Для побудови ефективної системи моніторингу якості води доцільно використовувати комплекс методів вимірювання, що поєднують електрохімічні, оптичні та електропровідні принципи, реалізовані за допомогою сучасних цифрових сенсорів.

Основні методи, що реалізуються в сучасних системах моніторингу якості води наведено у таблиці 1.2.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.2 – Методи та засоби вимірювання параметрів води

Показник якості	Метод вимірювання	Тип первинного перетворювача (сенсора)	Засіб
Температура	Терморезистивний	Напівпровідниковий термістор	Цифровий термометр у герметичному корпусі
Водневий показник (рН)	Потенціометричний	Комбінований скляний електрод (вимірювальний + референтний)	рН-електрод з аналоговим модулем посилення сигналу
Мінералізація (TDS)	Кондуктометричний	Дво- або чотириелектродний кондуктометр	Датчик електропровідності з температурною компенсацією
Мутність	Нефелометричний (метод розсіяного світла)	Оптична пара «ІЧ-випромінювач – фотоприймач»	Оптичний датчик

Вибір потенціометричного та кондуктометричного методів обумовлений їх високою точністю та можливістю отримання безперервного аналогового сигналу. Використання нефелометричного методу для контролю мутності та терморезистивних цифрових сенсорів дозволяє забезпечити комплексну оцінку якості води в режимі реального часу.

1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу водних ресурсів

У загальному випадку сучасні системи моніторингу ВР доцільно класифікувати за наступними основними ознаками (рисунок 1.6).

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19



Рисунок 1.6 – Класифікація систем моніторингу стану ВР

За ступенем автоматизації виділяють:

- ручні системи, у яких вимірювання проводяться оператором за допомогою портативних приладів;
- напівавтоматизовані системи, що передбачають часткову автоматизацію процесу вимірювання та обробки даних;
- автоматизовані системи, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів води без участі оператора та можуть інтегруватися в інформаційні мережі (IoT).

За способом розміщення системи поділяються на:

- портативні, що використовуються для експрес-контролю у польових умовах;
- стаціонарні, які встановлюються на водоочисних спорудах або у лабораторіях;
- вбудовані системи онлайн-моніторингу, що інтегруються безпосередньо у водні об'єкти або технологічні процеси.

За архітектурною побудовою:

- локальні системи - автономні пристрої, що здійснюють збір та відображення даних безпосередньо на об'єкті, наприклад, на базі мікроконтролера (PLC);
- розподілені (мережеві) системи з архітектурою «клієнт-сервер» або

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

хмарними обчисленнями, де дані передаються від багатьох вузлів до єдиного центру обробки.

За способом передачі даних:

- провідні використовують промислові протоколи, наприклад RS-485/Modbus, Ethernet;
- безпроводні базуються на технологіях Wi-Fi, GSM/GPRS, LoRaWAN або супутниковому зв'язку, що є характерним для сучасних IoT-рішень.

За функціональним призначенням:

- інформаційн, які лише збирають та відображають поточні параметри;
- прогностичні, що на основі зібраних даних будують моделі можливого забруднення з використанням алгоритмів AI.
- керуючі системи, які не лише моніторять, а й автоматично впливають на технологічний процес, наприклад, подача реагентів при відхиленні рН.

Сучасний моніторинг водних ресурсів є важливою складовою екологічного контролю та забезпечення якості води. Його розвиток пов'язаний із впровадженням автоматизованих систем, що здійснюють безперервний збір, обробку та передачу даних про стан водного середовища [10, 22, 23].

Портативні системи є найбільш доступними та використовуються для експрес-аналізу води в польових умовах. До них належать переносні рН-метри (а), TDS-метри (б), мультиметри якості води (в) (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Приклад портативних систем моніторингу

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

Стаціонарні системи забезпечують високу точність вимірювань і застосовуються для детального хімічного та біологічного аналізу води. До таких систем належать спектрофотометри (а), хроматографи (б), фотоколориметри (в) та інші аналітичні прилади (рисунок 1.8).

Вони дозволяють визначати широкий спектр показників, наприклад концентрації хімічних речовин (нітрати, метали, органічні сполуки), біохімічних показників, наявності токсичних компонентів.

Сучасні дослідження показують, що стаціонарні системи можуть інтегруватися з цифровими платформами та використовувати спектроскопічні методи для автоматизованого аналізу води.

Недоліками таких систем є:

- висока вартість обладнання;
- необхідність кваліфікованого персоналу;
- неможливість оперативного моніторингу в реальному часі.



а)



б)



в)

Рисунок 1.8 – Приклади стаціонарних систем

Найбільш перспективним напрямом є використання автоматизованих систем моніторингу на основі IoT технологій [23-25]. Такі системи забезпечують безперервне вимірювання параметрів водних об'єктів та динамічну передачу отриманих даних (рисунок 1.9). Застосування таких систем дозволяє:

- автоматизувати процес вимірювання;
- здійснювати віддалений контроль;
- накопичувати великі обсяги даних для аналізу;
- оперативно реагувати на зміни стану води .

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Наприклад, сучасні IoT-системи можуть одночасно контролювати декілька параметрів (рН, TDS, температура, рівень забруднення) та передавати їх у хмарні сервіси для подальшої обробки .



Рисунок 1.9 - Приклади промислових онлайн-аналізаторів якості води

Типова структура автоматизованих систем моніторингу (рисунок 1.10) включає [26]:

- сенсорний модуль (датчики рН, температури, мутності, TDS);
- мікроконтролер для обробки даних;
- модуль зв'язку (Wi-Fi, GSM, LoRa, Zigbee);
- хмарну платформу для зберігання та аналізу даних.

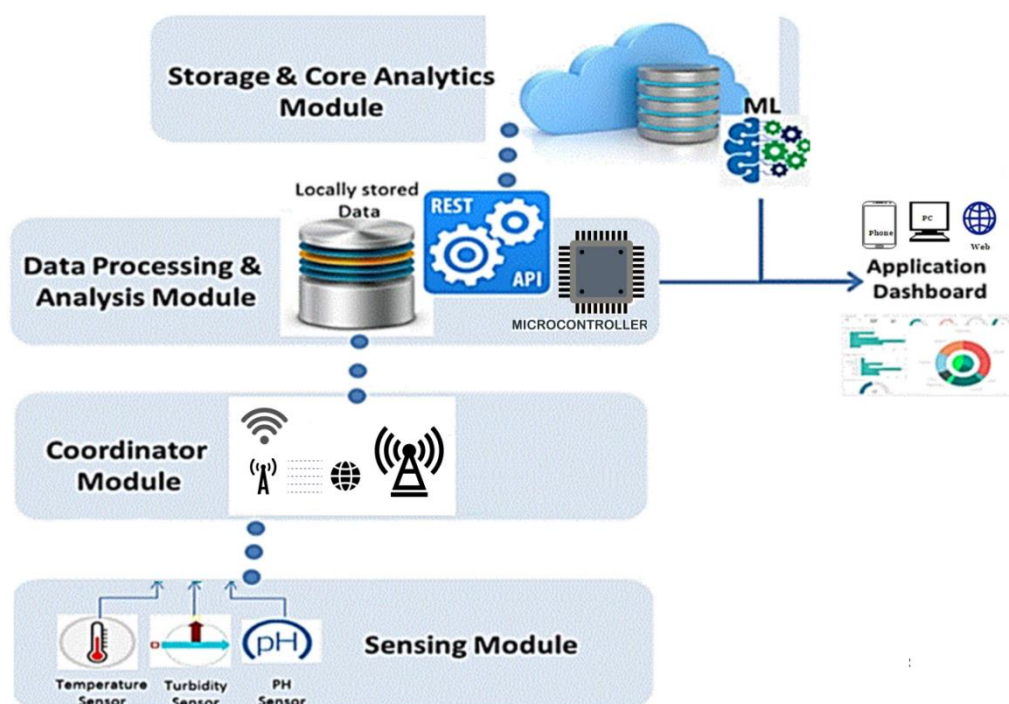


Рисунок 1.10 - Структура автоматизованої системи моніторингу якості води

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Проведений аналіз показує, що портативні системи є простими та дешевими, але обмеженими за функціональністю, оскільки забезпечують лише локальні вимірювання та не дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів води. Стаціонарні системи забезпечують високу точність, але не підходять для оперативного моніторингу, є дорогими та громіздкими. Автоматизовані системи поєднують переваги обох підходів, забезпечуючи баланс між точністю, автономністю та доступністю проте потребують значних ресурсів для впровадження та обслуговування.

Таким чином, актуальним є завдання розробки компактної, економічно доцільної та функціонально повної мікроконтролерної системи, здатної здійснювати безперервний контроль основних параметрів якості води з можливістю віддаленої передачі та обробки даних.

1.4 Постановка задачі дослідження

На основі проведеного аналізу предметної області, методів вимірювання та сучасних систем моніторингу водних ресурсів сформульовано вимоги до проектованої мікроконтролерної системи контролю якості води.

Проектована система повинна забезпечувати автоматизований контроль основних фізико-хімічних параметрів водного середовища, зокрема водневого показника (рН), температури, мутності та мінералізації (TDS). Вимірювання мають здійснюватися у безперервному режимі або з заданою періодичністю вимірювання, що дозволить забезпечити оперативне отримання інформації про стан водних ресурсів. Система повинна забезпечувати відображення результатів вимірювань, передачу даних на віддалений сервер, збереження історії вимірювань, а також можливість розширення кількості контрольованих параметрів.

Система повинна реалізовувати функції збору, обробки та передачі даних. Первинні сигнали, отримані від сенсорів, мають піддаватися попередній обробці, зокрема фільтрації, нормалізації та перетворенню у цифрову форму. Оброблена інформація повинна передаватися на віддалений сервер за

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

допомогою бездротового каналу зв'язку (GSM/GPRS), що забезпечує можливість віддаленого моніторингу.

З технічної точки зору система повинна будуватись на базі мікроконтролерної платформи, яка забезпечує достатню кількість аналогових та цифрових входів/виходів для підключення сенсорів різного типу одночасно. Апаратна частина повинна підтримувати роботу з інтерфейсами передачі даних (UART, аналогові входи, 1-Wire), працювати з модулем бездротового зв'язку (GSM / GPRS). Також система повинна забезпечувати стабільну роботу в умовах реального часу та мати можливість автономного живлення.

Важливою вимогою є забезпечення достатньої точності вимірювань. Система повинна гарантувати похибку вимірювання:

- рН – не більше $\pm 0,1$,
- температури – максимально $\pm 0,5$ °C,
- мутності - до ± 5 %,
- мінералізації – в межах ± 10 %.

При цьому система повинна передбачати можливість калібрування сенсорів з метою підвищення достовірності результатів, а також забезпечувати стабільність показників у часі та мінімізацію впливу зовнішніх факторів (температури, електромагнітних завад).

З експлуатаційної точки зору система повинна бути компактною для встановлення, енергоефективною та придатною для роботи в умовах підвищеної вологості. Конструкція повинна забезпечувати захист сенсорів від впливу зовнішнього середовища та простоту обслуговування.

Інформаційна складова системи повинна забезпечувати збереження отриманих даних, їх обробку та візуалізацію у зручному для користувача вигляді. Доступ до результатів вимірювань має здійснюватися через веб-інтерфейс, що дозволяє відображати інформацію у вигляді таблиць, графіків та повідомлень про відхилення параметрів від допустимих значень.

Крім того, система повинна характеризуватись надійністю роботи, що передбачає стабільне функціонування у тривалому режимі, коректну передачу даних та мінімізацію втрат інформації.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Сформульовані вимоги визначають основні функціональні, технічні та експлуатаційні характеристики проекрованої системи та слугують основою для подальшого розроблення її структури, вибору апаратних компонентів і програмної реалізації.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

2.1 Розробка архітектури проєктованої системи

Проектowana система моніторингу якості води призначена для автоматизованого вимірювання фізико-хімічних параметрів водного середовища, передачі отриманих даних на віддалений сервер, їх збереження та подальшого відображення у зручному для користувача вигляді.

З урахуванням вимог до мобільності, автономності та віддаленого доступу до результатів вимірювань, було обрано розподілену архітектуру з клієнт–серверною моделлю взаємодії. Така структура дозволяє логічно та фізично розділити процеси збору первинної інформації від процесів її інтелектуальної обробки.

У межах даної архітектури система логічно складається з двох основних компонентів (рисунок 2.1):

- клієнтська підсистема – польові вимірювальні пристрої, що безпосередньо контактують з об'єктом дослідження;
- серверна підсистема – централізований вузол, відповідальний за логіку обробки та інтерфейс користувача.



Рисунок 2.1 – Архітектура проєктованої МС

Клієнтська підсистема представлена мікроконтролерними модулями моніторингу, кожен з яких виконує вимірювання параметрів ВР за допомогою набору відповідних сенсорів, здійснює первинну обробку результатів та передає сформовані пакети даних через канал зв'язку на віддалений сервер. До складу даної підсистеми входять:

- сенсорні модулі (датчики рН, температури, мутності, мінералізації);
- мікроконтролерний блок керування;
- модуль зв'язку;
- допоміжні елементи, наприклад живлення, інтерфейсні вузли тощо.

Основними функціями клієнтської частини є:

- періодичне зчитування даних із датчиків;
- фільтрація та первинна обробка вимірювань;
- формування пакету даних для передачі;
- передача інформації на сервер через безпроводну мережу.

Підсистема виступає як інтелектуальний вимірювальний вузол, здатний працювати автономно в умовах контрольованого об'єкта.

Серверна підсистема забезпечує приймання даних від пристроїв моніторингу, їх валідацію, збереження у базі даних (БД), подальшу обробку та відображення результатів у веб-інтерфейсі. Вона реалізована у вигляді веб-орієнтованого програмного забезпечення (ПЗ), що включає backend та frontend компоненти. Основні функції серверної підсистеми включають:

- приймання даних від клієнтських пристроїв;
- перевірка коректності отриманої інформації;
- збереження результатів у БД;
- обробка та аналіз даних;
- візуалізація результатів у вигляді веб-інтерфейсу.

Частина frontend забезпечує взаємодію з користувачем, дозволяючи переглядати поточні та архівні значення параметрів якості води, а також аналізувати їх зміну у часі.

Передача даних між підсистемами здійснюється за допомогою безпроводного каналу зв'язку, що забезпечує можливість віддаленої взаємодії

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

між вимірювальними пристроями та сервером обробки даних. Застосування безпроводного зв'язку дозволяє:

- забезпечити автономність роботи системи;
- реалізувати передачу даних на значні відстані;
- усунути необхідність використання провідної інфраструктури.

Важливою перевагою запропонованої архітектури є її масштабованість (рисунок 2.2). Система спроектована таким чином, що одна централізована серверна підсистема може одночасно обслуговувати n клієнтських вузлів, розташованих у різних точках спостереження. Це дозволяє розгорнути мережі моніторингу на територіально розподілених об'єктах.

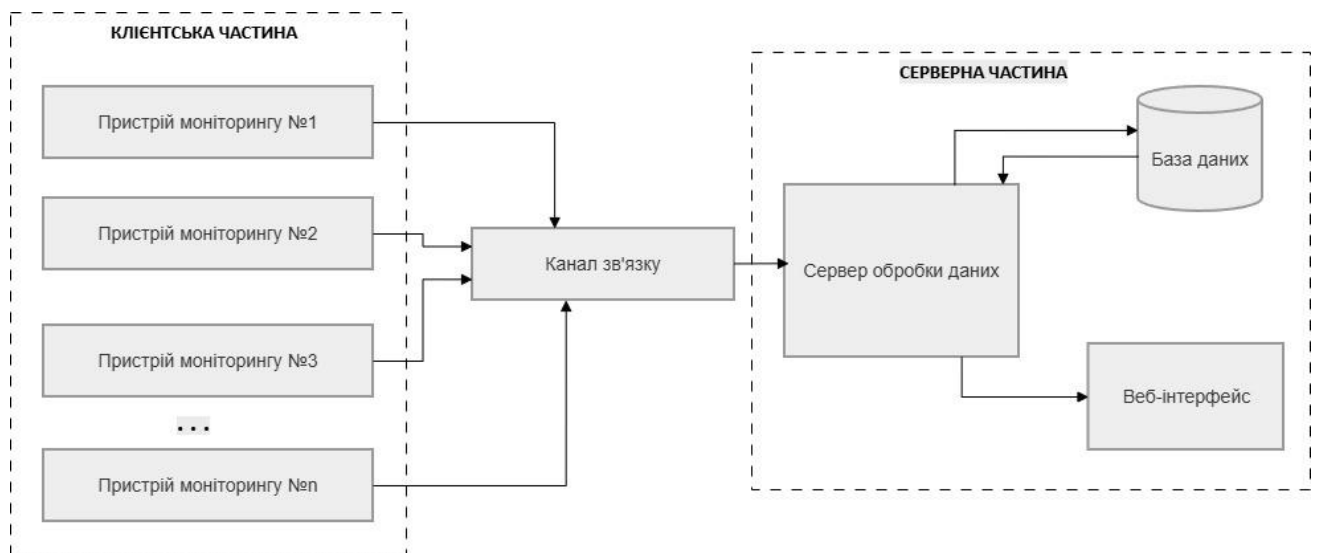


Рисунок 2.2 - Схема мережевої реалізації проектованої системи

З погляду практичної реалізації архітектуру проектованої МС доцільно розглядати як модель «декілька клієнтських вузлів – один сервер», у межах якої кожен пристрій моніторингу є автономним джерелом вимірювальної інформації, а серверна підсистема виступає центральним вузлом накопичення, аналізу та відображення даних.

Така організація спрощує адміністрування системи та підвищує ефективність централізованого моніторингу. Оскільки забезпечує можливість реалізувати контроль якості води не лише в одній локальній точці, а й у віддалених об'єктах ВР, наприклад у кількох резервуарах, свердловинах,

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

технологічних ємностях або пунктах водозабору.

Структурна реалізація проєктованої системи передбачає поділ на кілька функціональних рівнів (рисунк 2.3), а саме польовий рівень збору даних, мікроконтролерний рівень обробки, канал передачі даних, а також серверного рівня обробки та збереження інформації з подальшим відображенням результатів у веб-інтерфейсі користувача.



Рисунок 2.3 – Функціональні рівні проєктованої системи

Кожен з рівнів виконує специфічний набір завдань:

- на польовому рівні задіяні спеціалізовані сенсори для визначення рН, температури, каламутності та загальної мінералізації води;
- мікроконтролерний рівень обробки виступає в ролі інтелектуального ядра клієнта де здійснюється зчитування аналогових чи цифрових сигналів із датчиків, їх фільтрація для усунення завад та формування структурованих пакетів даних.
- рівень передачі даних базується на безпроводному каналі зв'язку. Це рішення дозволяє відмовитися від дорогої провідної інфраструктури, забезпечуючи при цьому автономність та можливість роботи у віддалених

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

районах, де відсутня локальна мережева інфраструктура.

- серверний рівень (backend) реалізований у вигляді ПЗ, що виконує валідацію вхідних пакетів, їх обробку згідно з алгоритмами та надійне збереження в БД.

- рівень відображення (frontend) представлений веб-інтерфейсом, який забезпечує інтерактивний доступ до поточних та архівних показників, дозволяючи відстежувати динаміку змін параметрів у часі.

Взаємодія між компонентами проєктованої МС реалізується через мережу безпроводного зв'язку, що забезпечує:

- можливість роботи у віддалених районах;
- відсутність залежності від локальної Wi-Fi інфраструктури;
- достатню пропускну здатність для передачі телеметричних даних.

Проєктована система реалізована за розподіленою клієнт–серверною архітектурою, що забезпечує ефективний збір, передачу, обробку та відображення даних про стан ВР. Завдяки такій організації, вона забезпечує ефективний динамічний моніторинг, дозволяючи легко інтегрувати додаткові вимірювальні модулі без перепроєктування всієї системи.

2.2 Розробка структурної схеми мікроконтролерної системи збору та передачі даних

На основі розробленої архітектури МС моніторингу стану ВР сформовано структурну схему мікроконтролерного модуля (МКМ). МКМ спроектований як автономна одиниця, що поєднує вимірювальні, обчислювальні та комунікаційні можливості. Схема (рисунок 2.4) відображає внутрішню будову компонента клієнтської підсистеми, визначає склад його функціональних блоків та описує характер взаємодії між ними.

Як видно з рисунка 2.4 до складу МКМ інтегровано чотири основні блоки, кожен з яких відповідає за певну стадію обробки інформації або забезпечення життєдіяльності системи:

- сенсорний модуль;

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- мікроконтролерний блок керування;
- модуль безпроводного зв'язку;
- блок живлення.



Рисунок 2.4 – Структура МКМ

МКМ первинною ланкою системи, призначеною для безпосереднього фізичного контакту з водним середовищем. Він об'єднує датчики рН, температури, каламутності та загальної мінералізації. Кожен сенсор генерує електричний сигнал (аналоговий або цифровий), параметри якого пропорційні реальному стану контрольованого показника.

Мікроконтролерний блок керування є центральним елементом, що виконує функції збору, обробки та підготовки даних до передачі. Він здійснює ініціалізацію датчиків, періодичне опитування їх входів та перетворення отриманих сигналів у цифрові значення. Також блок виконує програмну фільтрацію шумів та упаковує оброблені дані у пакети, готові до відправлення.

Модуль зв'язку забезпечує дистанційну передачу сформованих пакетів від мікроконтролерного блоку керування до серверної частини системи через зовнішні мережі. Окрім передачі телеметрії, модуль здатний приймати вхідні

команди від сервера для дистанційного налаштування режимів роботи пристрою.

Блок живлення стабільну енергію для всіх активних компонентів. Його функція полягає не лише у подачі напруги, а й у її стабілізації для запобігання похибкам вимірювання, що можуть виникнути через коливання живлення на сенсорах.

Додатково в архітектурі може бути передбачено локальний інтерфейс користувача (дисплей або світлодіодні індикатори). Це дозволяє персоналу на місці отримувати оперативну інформацію про поточний стан системи та результати останніх вимірювань без необхідності звернення до веб-інтерфейсу сервера.

На рисунок 2.5 наведено структурну схему МС збору та передавання даних стану ВР.

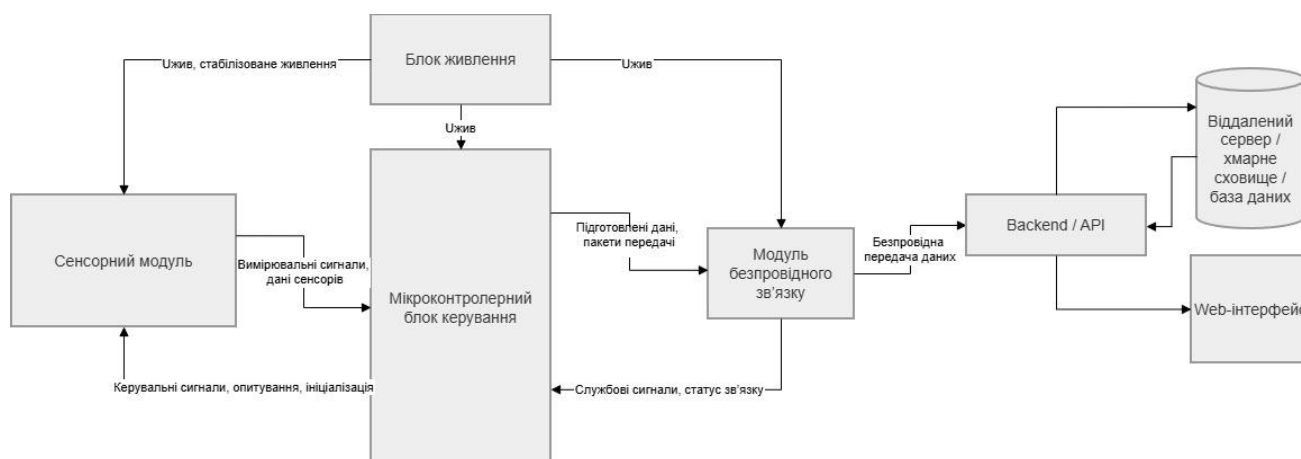


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи

Деталізована структурна схема системи (рисунок 2.5) ілюструє, що взаємодія між блоками базується на трьох типах каналів:

- інформаційні канали забезпечують передачу вимірювальної інформації, що від сенсорного модуля надходить на входи блоку керування;
- керуючі сигнали генерує PLC для вибору активного датчика, ініціалізації сеансів зв'язку та моніторингу статусу мережевого з'єднання;
- енергетичні канали забезпечують, який розподіл енергії від блоку живлення між усіма вузлами, забезпечуючи коректну роботу як чутливих

сенсорів, так і енергоємного передавача.

Сенсорний модуль формує первинну інформацію про параметри якості води у вигляді аналогових або цифрових сигналів, які надходять на входи PLC, де здійснюється їх перетворення (у разі аналогових сигналів АЦП), фільтрація, обчислення необхідних параметрів. Після обробки даних PLC формує інформаційні пакети, які передаються до комунікаційного модуля, який. зв'язку виконує інкапсуляцію даних, передачу у зовнішню мережу та, за потреби, приймання команд від сервера. Зв'язок реалізується за допомогою цифрового інтерфейсу, зокрема UART / SPI / I2C. PLC передає оброблену інформацію на рівень відображення (дисплей, індикатори), де вона представлена у вигляді зручному для користувача.

2.3 Обґрунтування вибору компонентів системи

2.3.1 Вибір способу передачі даних

Для проєктування МС важливим є вибір технології передачі даних між клієнтськими пристроями та серверною частиною. Враховуючи, що система орієнтована на роботу в умовах віддаленого розміщення вимірювальних вузлів, канал зв'язку повинен забезпечувати надійну передачу даних на значні відстані, автономність роботи та незалежність від локальної інфраструктури.

Для реалізації передачі даних було розглянуто такі сучасні безпроводні технології [27, 28]:

- Bluetooth;
- Wi-Fi (IEEE 802.11);
- Zigbee (IEEE 802.15.4);
- GSM/GPRS;
- LoRa WAN (Long Range Wide Area Network);
- NB-IoT (Narrowband IoT).

В таблиці 2.1 наведено порівняльні характеристики розглянутих технологій безпроводного зв'язку.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики безпроводних каналів передавання даних

Технологія	Дальність	Швидкість	Пропускна здатність	Енергоспоживання
Wi-Fi	50–200 м	до 100 Мбіт/с	Дуже висока (потоківне відео, великі файли)	Середнє/Високе
Bluetooth	10–100 м	до 3 Мбіт/с	Середня (аудіо, передача медіафайлів)	Низьке
Zigbee	10–100 м	до 250 кбіт/с	Низька (команди керування, стани сенсорів)	Дуже низьке
GSM/GPRS	від 1 км	40–85 кбіт/с	Середня (текстові пакети, лог-файли)	Середнє
LoRa	2–15 км	0.3–50 кбіт/с	Дуже низька (короткі повідомлення, телеметрія)	Дуже низьке
NB-IoT	до 10–15 км	до 250 кбіт/с	Низька (періодичні пакети даних)	Низьке

Bluetooth (IEEE 802.15.1) є технологією короткого радіусу дії з низьким енергоспоживанням. Типова дальність становить 10–30 м (клас 2) або до 100 м (клас 1). Швидкість передачі даних до 1-3 Мбіт/с (Bluetooth Classic) або значно менша для BLE. Попри низьку вартість модулів та мале енергоспоживання технологія призначена переважно для персональних мереж і не підходить для віддаленого моніторингу через малу дальність. Для передачі даних у глобальну мережу Internet необхідний постійно активний шлюз у безпосередній близькості, наприклад, смартфон або спеціалізований хаб, що передачу даних залежною від стороннього обладнання.

Wi-Fi є технологією безпроводної передачі даних у локальних мережах.

Типова дальність становить 30-100 м у приміщенні та до 200-300 м на

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

відкритому просторі. Швидкість передачі даних висока від 11 Мбіт/с до декількох Гбіт/с залежно від стандарту. Технологія забезпечує швидку передачу великих обсягів інформації та легку інтеграцію з веб-серверами.

Технологія Wi-Fi має високе енергоспоживання, що критично для автономних польових пристроїв. Головним обмеженням є прив'язка до точок доступу (роутерів). Для моніторингу віддалених водойм або свердловин Wi-Fi не підходить через малу дальність дії та відсутність інфраструктури у польових умовах.

Zigbee це стандарт безпроводного зв'язку для побудови самоорганізованих мереж (mesh-мереж) з низьким енергоспоживанням. Типова дальність між вузлами становить 10-100 м, проте вона може бути значно збільшена за рахунок ретрансляції сигналу іншими пристроями мережі. Швидкість передачі даних обмежена 250 кбіт/с. Технологія підходить для автоматизації промислових об'єктів та «розумних будинків», де велика кількість датчиків розташована на відносно невеликій площі.

Дана технологія потребує встановлення спеціального шлюзу (Gateway) для виходу в інтернет. Для реалізації моніторингу територіально розподілених об'єктів Zigbee є малоефективною. Оскільки об'єкти моніторингу стану ВР часто рознесені на великі відстані, побудова суцільної Zigbee-мережі є економічно недоцільною та технічно складною порівняно з використанням готового покриття стільникових операторів. Основним обмеженням її використання є необхідність побудови власної мережевої інфраструктури (шлюзів та ретрансляторів) для покриття великих відстаней.

GSM/GPRS використовує мережі мобільного зв'язку і забезпечує практично необмежену дальність у межах покриття оператора (кілометри та десятки кілометрів). Типова швидкість передачі даних у GPRS становить до 40-85 кбіт/с. Технологія не потребує додаткової інфраструктури та добре підходить для передавання телеметричних даних.

Технологія LoRaWAN є забезпечує комунікацію у енергоефективних мережах великого радіуса дії. Типова дальність становить 2–5 км у міських умовах та до 10-15 км на відкритій місцевості. Швидкість передачі даних дуже

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

низька від 0,3 до 50 кбіт/с. Технологія розроблена спеціально для передачі невеликих пакетів даних від автономних датчиків на великі відстані.

Незважаючи на значну дальність, технологія потребує наявності розгорнутої мережі базових станцій (шлюзів) LoRa. У багатьох регіонах покриття LoRaWAN є фрагментарним або відсутнім. На відміну від GSM, LoRa не гарантує миттєвого підключення до мережі "з коробки" у будь-якій точці, де є мобільний зв'язок.

NB-IoT є технологією вузькосмугового IoT-зв'язку, що працює в мережах мобільних операторів. Забезпечує дальність на рівні GSM (кілометри), дуже низьке енергоспоживання та швидкість передачі до ~250 кбіт/с. Недоліком є залежність від підтримки оператором та складність впровадження. Хоча NB-IoT працює на базі мереж LTE, вона потребує специфічного оновлення програмного забезпечення на базових станціях оператора. У багатьох регіонах (особливо за межами великих міст) підтримка цього стандарту все ще відсутня. Також процес налагодження та реєстрації пристрою в мережі є технічно складним.

Технологія GSM/GPRS є найбільш універсальним рішенням, оскільки забезпечує глобальне покриття і прямий вихід в Internet. Вона не потребує додаткової інфраструктури, має достатню пропускну здатність для передавання отриманих в результаті вимірювання даних, а також має просту інтеграцію з MC.

2.3.2 Вибір апаратних компонентів

Вибір апаратних компонентів проєктованої MC здійснювався з врахуванням функціонального призначення, переліку контрольованих параметрів, вимог до точності вимірювань, надійності, сумісності елементів між собою, а також умов автономної експлуатації.

Оскільки система призначена для вимірювання характеристик ВР з подальшою передачею результатів на віддалений сервер, апаратна частина повинна забезпечувати одночасне підключення декількох сенсорів, перетворення аналогових і цифрових сигналів, локальну обробку даних та підтримку безпроводного зв'язку. Саме тому до складу системи було включено

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

мікроконтролерний модуль, набір спеціалізованих датчиків, модуль зв'язку та підсистему живлення.

Центральним елементом системи обрано плату Arduino Mega2560, оскільки її характеристики найбільш повно відповідають вимогам до проєктованої МС (рисунок 2.6) [29].

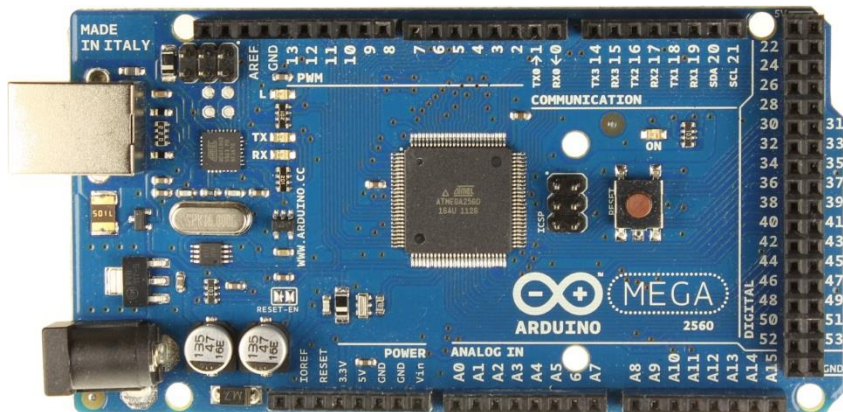


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд Arduino Mega2560

Її використання обґрунтовується великою кількістю входів/виходів, наявністю 16 аналогових входів, 54 цифрових ліній, чотирьох апаратних UART-інтерфейсів, а також достатнім обсягом пам'яті, зокрема 256 КБ Flash, 8 КБ RAM та 4 КБ EEPROM (рисунок 2.7).

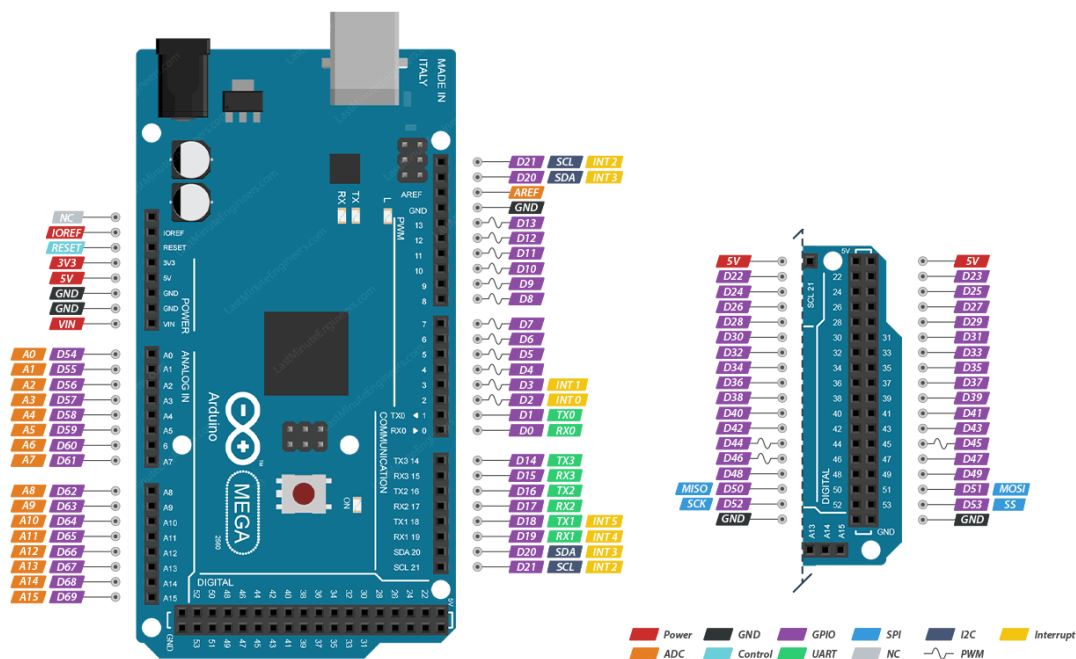


Рисунок 2.7 – Позначення виходів/входів Arduino Mega2560

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ

Робоча напруга плати становить 5 В, а рекомендована вхідна напруга живлення 7–12 В, що узгоджується з автономним живленням від акумуляторного вузла. Також важливо, що плата має 10-бітний АЦП, який дозволяє безпосередньо обробляти аналогові сигнали сенсорів.

Вибір Arduino Mega2560, а не більш простих плат типу Uno або Nano, пояснюється необхідністю одночасного підключення кількох аналогових датчиків, цифрового температурного сенсора та GSM-модуля. Додатковою перевагою є наявність кількох апаратних послідовних інтерфейсів, що спрощує обмін даними з модулем зв'язку без перевантаження програмної частини.

Для вимірювання параметрів стану ВР обрано такі сенсори:

- рН-датчик – забезпечує вимірювання кислотності води за потенціометричним методом;
- датчик мутності – реалізує оптичний метод вимірювання;
- температурний датчик DS18B20 – цифровий сенсор із високою точністю;
- TDS-датчик – використовується для оцінки мінералізації води на основі електропровідності.

Контроль кислотності є одним із базових показників якості води, тому до відповідного сенсора висуваються вимоги щодо достатнього діапазону вимірювання, прийнятної точності та сумісності з мікроконтролерною платформою. Обраний рН-датчик (рисунок 2.8) має діапазон 0–14 рН, що повністю перекриває весь робочий інтервал кислотності ВР, а заявлена точність $\pm 0,1$ рН при 25 °С є достатньою для моніторингових задач [30].



Рисунок 2.8 – Датчик кислотності

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Час відгуку до 5 с також можна вважати прийнятним, оскільки система не належить до високошвидкісних вимірювальних комплексів реального часу. Живлення модуля становить 5 В, а підключення реалізується через аналоговий вхід, що добре узгоджується з можливостями Arduino Mega2560. Додатковими перевагами є зручність калібрування, екранований кабель і простота практичного використання.

Для оцінки наявності механічних домішок і ступеня прозорості води доцільно використовувати датчик мутності, побудований на оптичному принципі дії. Обраний Turbidity Sensor (рисунок 2.10) працює при напрузі 5 В, споживає близько 40 мА, має час відгуку не більше 500 мс і формує аналоговий вихідний сигнал у межах 0–4,5 В, що безпосередньо відповідає вхідному діапазону АЦП мікроконтролера [31].



Рисунок 2.10 - Датчик мутності

Важливою практичною перевагою датчика є наявність окремого контролера, завдяки чому його можна підключити лише трьома лініями живлення, земля і аналоговий сигнал, без додаткових узгоджувальних елементів. Це спрощує схему, зменшує кількість допоміжних компонентів і підвищує надійність апаратної реалізації.

Температура води є необхідним параметром не лише сама по собі, а й як величина, що впливає на коректність вимірювання інших характеристик, зокрема мінералізації. Саме тому в системі використано цифровий датчик DS18B20 у виконанні водонепроникного зонда (рисунок 2.11). Його діапазон

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вимірювання становить від -55 до +125 °С, а точність дорівнює $\pm 0,5$ °С у межах -10...+85 °С, що є більш ніж достатнім для контролю природних і технологічних водних середовищ [32].



Рисунок 2.11 – Датчик температури

Датчик працює від напруги 3–5,5 В, використовує інтерфейс 1-Wire, має герметичне виконання та цифровий вихід, завдяки чому менш чутливий до завад при використанні довших провідників. Цифрове перетворення відбувається всередині корпусу датчика, що позитивно впливає на стабільність показань. Недоліком є необхідність підтягуючого резистора 4,7 кОм, однак цей недолік не є критичним і повністю компенсується точністю та зручністю використання.

Для оцінювання загальної кількості розчинених солей у воді в системі застосовано датчик мінералізації TDS (рисунок 2.12), оскільки цей параметр має важливе практичне значення для аналізу питної та технічної води [33].



Рисунок 2.12 – Датчик TDS

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Орієнтовні значення TDS для різних типів води становлять різні значення, наприклад для чистої води це 80–150 ppm, для водопровідної 250–350 ppm, для підземних вод 500–1000 ppm, а рекомендований рівень для питної води становить менше 300 ppm. Це означає, що сенсор повинен забезпечувати чутливість саме в нижньому і середньому діапазонах мінералізації, характерних для побутових і природних об’єктів контролю.

Для передавання вимірянних даних на віддалений сервер у пристрої обрано модуль SIM800L (рисунок 2.13), який підтримує мережі 2G/GPRS, працює через інтерфейс UART і використовує зовнішню антену [34].

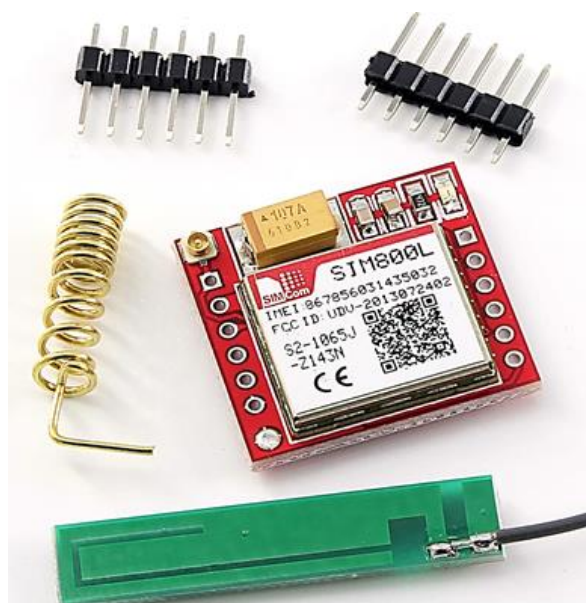


Рисунок 2.13 - Модуль SIM800L

Вибір саме цього модуля в межах апаратної частини є логічним продовженням обраної технології зв’язку, оскільки він безпосередньо реалізує передачу телеметричних даних через мобільну мережу. До його переваг належать невеликі габарити, низька вартість, підтримка стандартної SIM-карти, простота інтеграції з мікроконтролером та можливість обміну цифровими даними через GPRS. Напруга живлення модуля у файлі вказана як 2,8–3,3 В, а обмін із мікроконтролером здійснюється через UART, що добре узгоджується з наявністю кількох апаратних Serial-портів у Arduino Mega2560.

Оскільки MC повинна працювати автономно вирішено реалізувати живлення від двох акумуляторних батарей по 3,7 В, заряджання яких

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

здійснюється через модуль TP4056, а живлення плати Arduino подається на вхід Vin. Така схема є доцільною, оскільки сумарна напруга близько 7,4 В відповідає рекомендованому вхідному діапазону для Arduino Mega2560. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу плати та підключених сенсорів, а також реалізувати автономний режим експлуатації пристрою в герметичному корпусі.

.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ПРО СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ

3.1 Розробка алгоритму роботи

Алгоритм роботи проєктованої МС моніторингу якості води визначає послідовність виконання операцій збору, обробки та передачі вимірювальної інформації. Його розробка базується на структурі клієнтського пристрою та забезпечує автоматичне функціонування системи в автономному режимі.

Основною задачею алгоритму є періодичне вимірювання параметрів якості води, їх обробка та передача на віддалений сервер для подальшого збереження і аналізу.

Загальна структура алгоритму роботи системи включає такі основні етапи:

- ініціалізація апаратних компонентів;
- зчитування даних із сенсорів;
- обробка та корекція вимірювань;
- формування пакету даних;
- передача даних на сервер;
- очікування та повторення циклу.

Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію всіх підключених модулів. На цьому етапі здійснюється:

- налаштування портів введення/виведення;
- ініціалізація аналогово-цифрового перетворювача;
- запуск інтерфейсів обміну даними;
- ініціалізація модуля безпроводного зв'язку;
- перевірка готовності сенсорів до роботи.

У разі виявлення помилок (наприклад, відсутність відповіді від датчика) система може виконувати повторну ініціалізацію або переходити у режим очікування.

Після успішної ініціалізації система переходить до періодичного зчитування даних із сенсорного модуля. Зчитуються такі параметри:

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- значення кислотності (pH);
- температура води;
- рівень мутності;
- мінералізація (TDS).

Аналогові сигнали датчиків перетворюються у цифрову форму за допомогою вбудованого АЦП мікроконтролера, а цифрові датчики передають значення через відповідні інтерфейси.

Отримані значення проходять первинну обробку, яка включає:

- фільтрацію шумів (усереднення або згладжування);
- масштабування сигналів;
- переведення у фізичні одиниці вимірювання;
- температурну компенсацію (для TDS);
- перевірку допустимих меж значень.

Цей етап дозволяє підвищити точність та достовірність результатів вимірювання.

Після обробки формується структурований пакет даних, який містить значення всіх виміряних параметрів, службову інформацію (час вимірювання, ідентифікатор пристрою) та контрольні дані (за потреби). Пакет підготовлюється у форматі, придатному для передачі через канал зв'язку.

Сформований пакет передається до модуля безпроводного зв'язку, який здійснює його відправлення на віддалений сервер. Передача може виконуватися:

- у режимі реального часу;
- з певною періодичністю;
- або за подієвим принципом.

У разі помилки передачі система може виконати повторну спробу відправлення.

Після завершення передачі даних система переходить у режим очікування на заданий інтервал часу, після чого цикл повторюється. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг параметрів якості води.

Таким чином, алгоритм роботи системи реалізує циклічний процес вимірювання → обробка → передача → очікування → повторення.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Центральну роль у виконанні алгоритму відіграє мікроконтролер, який координує роботу всіх функціональних блоків та забезпечує узгодженість їх взаємодії.

На рисунку 3.1 наведено схему алгоритму роботи проєктованої МС.

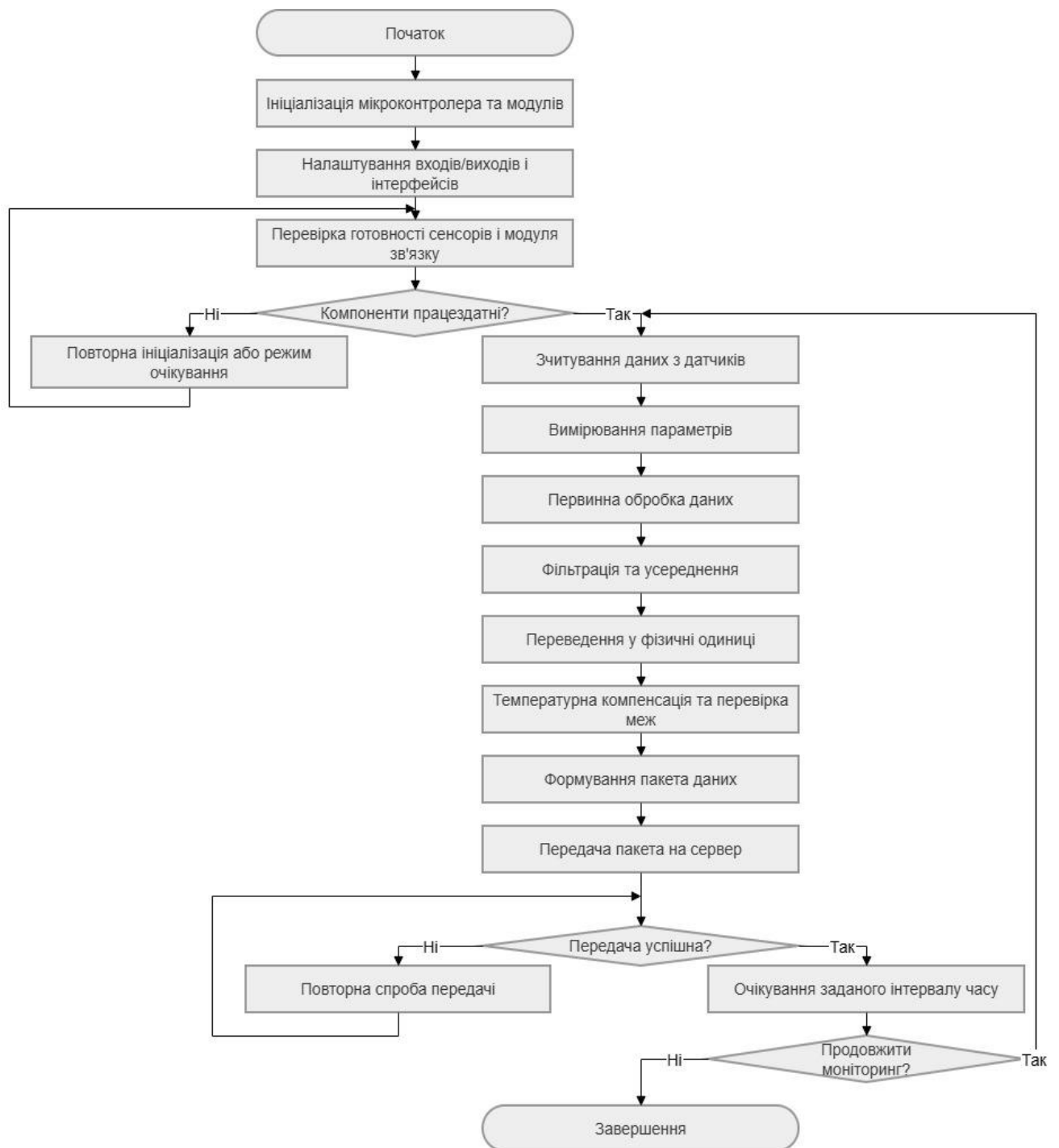


Рисунок 3.1 - Схема алгоритму роботи МС моніторингу якості води

Розроблений алгоритм роботи забезпечує автоматизований збір, обробку та передачу даних про якість води з мінімальним втручанням користувача. Його

структура дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації, змінювати періодичність вимірювань та розширювати функціональні можливості МС.

3.2 Розробка принципової електричної схеми

На рисунку 3.2 наведено принципову електричну схему МС вимірювання та передавання даних про стан ВР, яка відображає взаємозв'язки між основними функціональними елементами пристрою.

Центральним елементом системи є мікроконтролер Arduino Mega 2560, який виконує функції збору, обробки та передачі даних. До нього підключено сенсорні модулі, що забезпечують вимірювання основних параметрів води.

Датчик рН типу РН-4502С підключено до аналогових входів мікроконтролера, що дозволяє зчитувати значення напруги, пропорційної кислотно-лужному балансу води. Для вимірювання температури використовується цифровий датчик, підключений через інтерфейс 1-Wire. У схемі передбачено підтягуючий резистор R2 номіналом 4,7 кОм, який забезпечує коректну роботу цифрової лінії даних.

Датчик мутності підключено до аналогового входу мікроконтролера, що дозволяє визначати ступінь прозорості води на основі інтенсивності світлового сигналу. TDS-датчик підключено через аналоговий канал із використанням резистора R1 номіналом 1 кОм для стабілізації сигналу.

Передача даних здійснюється за допомогою GSM-модуля SIM800L, який підключено до мікроконтролера через послідовний інтерфейс UART (лінії TX/RX). Це забезпечує можливість віддаленої передачі результатів вимірювань на сервер.

Живлення системи здійснюється від акумуляторного джерела напругою 7,2–7,4 В. Для заряджання акумулятора використовується модуль USB Li-Po зарядного пристрою. Напруга подається на вхід Vin мікроконтролера, після чого стабілізується до робочого рівня.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

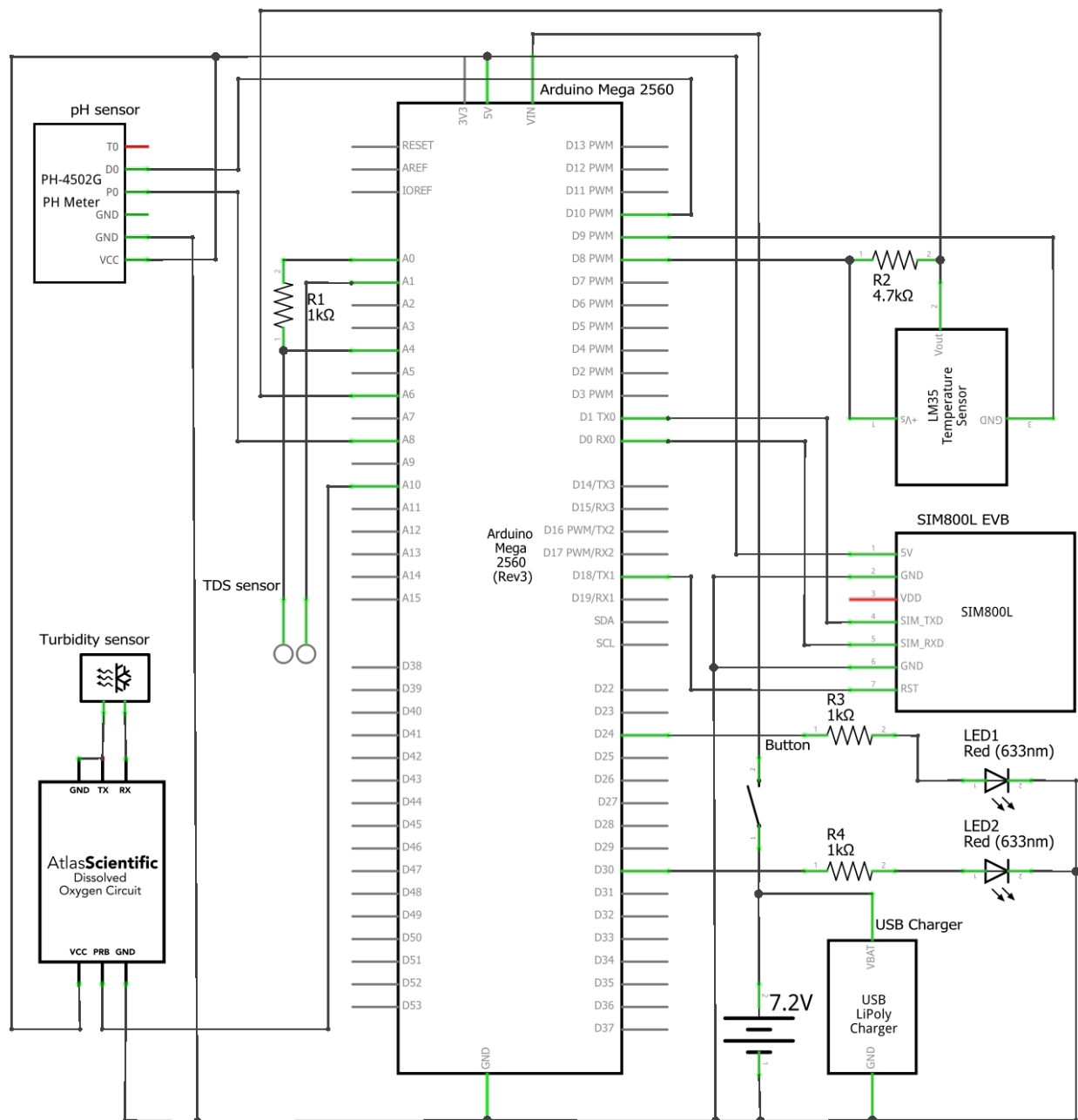


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема

У схемі також передбачено:

- кнопку керування, підключену через резистор R3;
- світлодіодні індикатори (LED1, LED2), підключені через резистори R3 та R4, які сигналізують про стан роботи пристрою.

Всі елементи схеми мають спільну точку заземлення (GND), що є необхідною умовою коректної роботи електронної системи.

У схемі використовуються як аналогові, так і цифрові сигнали. Аналогові сигнали формуються датчиками рН, мутності та TDS і надходять на аналогові

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

входи мікроконтролера, де перетворюються у цифрову форму за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Датчик температури працює за цифровим інтерфейсом 1-Wire, що забезпечує високу завадостійкість та точність передачі даних. Перетворення сигналів здійснюється за допомогою 10-бітного АЦП мікроконтролера, що забезпечує достатню точність для вимірювання параметрів.

Усі елементи системи працюють у діапазоні напруг 3,3–5 В, що забезпечує їх сумісність з мікроконтролерною платформою та стабільність роботи. Живлення системи реалізовано за допомогою акумуляторного джерела напруги з подальшою стабілізацією до рівня 5 В. При цьому важливим є забезпечення стабільності живлення, оскільки відхилення напруги можуть впливати на точність аналогових вимірювань. Для цього використовується вбудований стабілізатор мікроконтролера та додаткові елементи згладжування.

При проєктуванні схеми враховано можливість впливу електромагнітних завад, тому з'єднувальні провідники мають мінімальну довжину, а також використано спільну систему заземлення.

3.3 Апаратна реалізація системи

Апаратна частина системи була реалізована на основі мікроконтролерної платформи Arduino Mega2560 з підключенням відповідних сенсорів та модуля безпроводного зв'язку. До складу апаратної частини входять:

- мікроконтролер Arduino Mega2560;
- рН-датчик;
- датчик мутності;
- температурний датчик DS18B20;
- датчик мінералізації (TDS);
- модуль безпроводного зв'язку;
- підсистема живлення.

Збірка системи здійснювалась відповідно до розробленої графічної схеми побудованої в програмному середовищі Fritzing (рисунок 3.3).

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

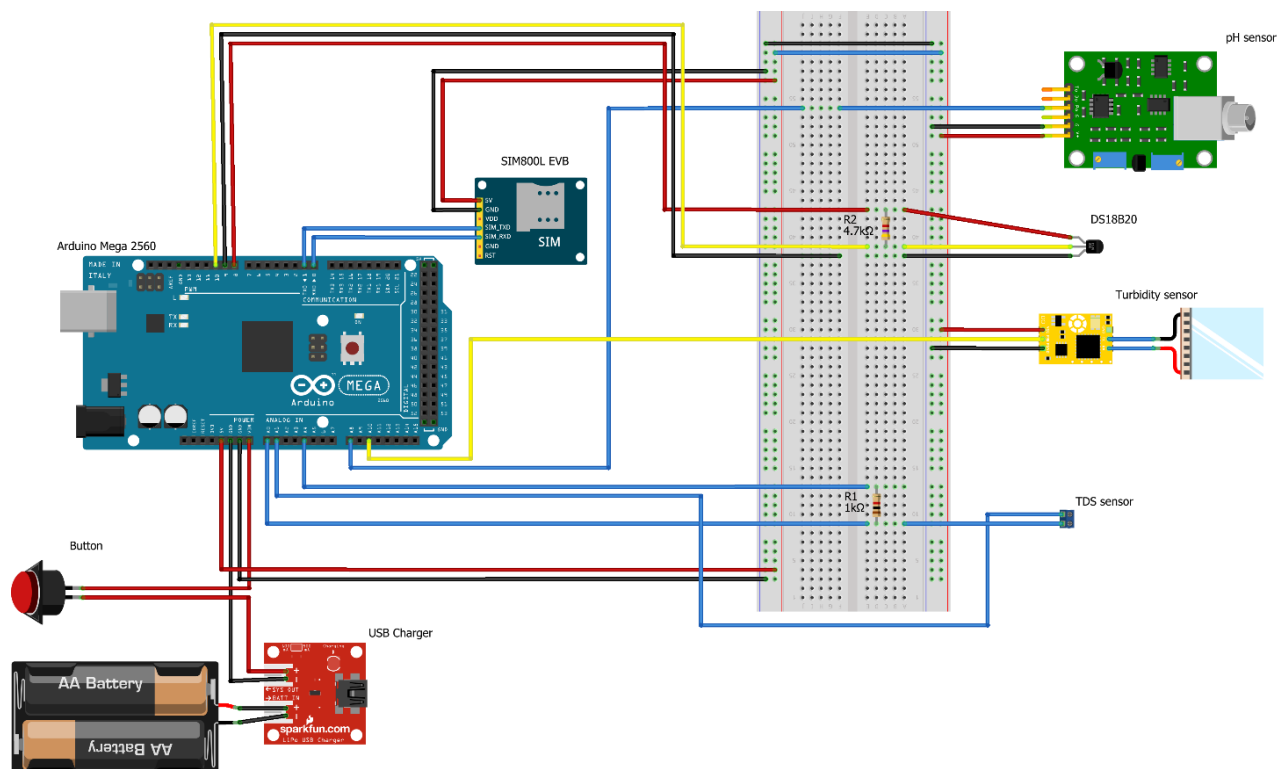


Рисунок 3.3 – Монтажна схема МС

Попереднє моделювання схеми дозволяє оптимізувати розміщення елементів у корпусі пристрою, мінімізувати довжину з'єднувальних провідників та зменшити кількість допоміжних монтажних елементів, що підвищує надійність і компактність системи.

Підключення кожного компонента виконувалося з урахуванням його електричних параметрів, типів інтерфейсів та умов сумісності з мікроконтролерним блоком керування.

Підключення сенсорів до аналогових входів мікроконтролера дозволяє здійснювати перетворення аналогових сигналів у цифрову форму за допомогою вбудованого АЦП. Температурний датчик DS18B20 підключено через цифровий інтерфейс 1-Wire з використанням підтягуючого резистора. Такий спосіб підключення забезпечує стабільну передачу даних та стійкість до завад.

Модуль безпроводного зв'язку підключено до мікроконтролера через послідовний інтерфейс UART. Це дозволяє реалізувати обмін даними між мікроконтролером та модулем у режимі передачі пакетів інформації на віддалений сервер.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

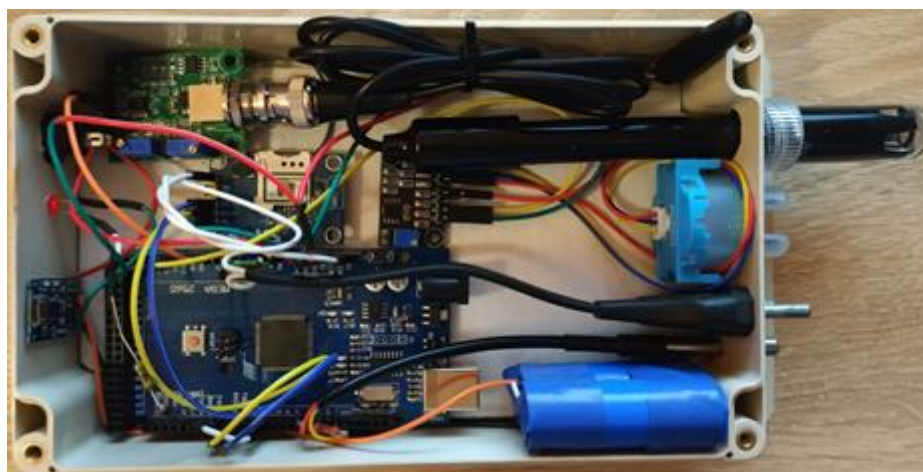
Живлення системи реалізовано на основі акумуляторних батарей, що забезпечують автономну роботу пристрою. Напруга живлення подається на вхід PLC, а також розподіляється на всі підключені модулі. Для заряджання акумуляторів використовується спеціалізований модуль, що забезпечує безпечний режим зарядки.

Усі компоненти системи розміщені в герметичному корпусі з габаритними розмірами 200×120×55 мм, що забезпечує захист електронних елементів від впливу зовнішнього середовища, зокрема вологи, пилу та механічних пошкоджень.

На рисунку 3.4 представлено внутрішнє компонування пристрою.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд МКМ

У корпусі закріплено мікроконтролер Arduino Mega 2560, модуль зв'язку, сенсорні модулі, елементи живлення, а також допоміжні електронні компоненти. Розташування елементів виконано з урахуванням принципів компактності та

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

раціонального використання внутрішнього простору, що дозволило мінімізувати довжину з'єднувальних провідників та зменшити електромагнітні завади.

Для забезпечення контакту з водним середовищем у корпусі виконано технологічні отвори, через які виведені чутливі елементи датчиків. При цьому отвори герметизовано, що запобігає проникненню вологи всередину корпусу та забезпечує надійність роботи пристрою в польових умовах.

Елементи живлення також інтегровані у корпусі та розміщені таким чином, щоб забезпечити зручність підключення та обслуговування. Провідники організовані впорядковано, що спрощує монтаж і підвищує ремонтпридатність системи.

На рисунку 3.4 (а) показано зовнішній вигляд бокової частини де розташовано перемикач живлення, який дозволяє здійснювати ввімкнення та вимкнення системи, а також світлодіодний індикатор, що сигналізує про роботу пристрою. Таке компонування забезпечує зручність експлуатації та швидкий візуальний контроль стану системи.

Після завершення монтажу всі компоненти закриваються кришкою корпусу, що забезпечує додатковий захист та завершеність конструкції.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено МС вимірювання та передавання даних про стан ВР, що спрямована на підвищення ефективності моніторингу якості води.

Проведено дослідження основних показників якості води та методів їх вимірювання. Проаналізовано існуючі системи моніторингу ВР, визначено їх переваги та недоліки, що дозволило обґрунтувати доцільність розробки МС.

На основі проведеного аналізу предметної області сформульовано вимоги до проєктованої системи.

Здійснено обґрунтування вибору компонентів системи, зокрема мікроконтролера, сенсорних модулів та технології передачі даних, що забезпечують необхідну точність, надійність та стабільність роботи системи.

Розроблено архітектурну, структурну та принципову електричну схеми системи.

Реалізовано алгоритми збору, обробки та передавання даних, що забезпечують автоматизований моніторинг параметрів води у реальному часі.

Створено експериментальний зразок пристрою, який підтвердив працездатність розроблених рішень та можливість їх практичного застосування для контролю якості водних ресурсів.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем екологічного моніторингу, а також у практичних задачах контролю якості питної води, промислових і природних водних об'єктів.

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Water Facts. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unwater.org/water-facts>
2. Where is Earth's Water? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/where-earths-water>
3. World Water Map for Safe Drinking. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.essentialneed.org/world-water-map?gad_source=1&gad_campaignid=21319145965&gbraid=0AAAAADQ50j3Q89CqhWWkyqPqHwrzrjn1o&gclid=Cj0KCQjwpv7NBhCzARIsADkIfWxFI02byFCwiaFe5XEQtQ_eryTYI-A5SIT4tCahmYSn4oAKcCR5GwIaAsy6EALw_wcB
4. The Hydrologic Cycle. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
5. UN World Water Development Report. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report>
6. Khilchevskiy V. (2020). Global Water Resources: Challenges Of The 21st Century. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography. 6-16. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1>.
7. Значення води для життя на Землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://heavenwater.com.ua/ekologiya-ta-zberezhennya-vody/>
8. Cabarcas A., Puello P., Montoya J., Pombo D., Torres Perez J. Automated IoT based water quality monitoring system. II International Congress on Biorefineries and Renewable Energies Supported in ICTs: BRESICT, 2020. P.118-121. <https://doi.org/10.16925/ecam.03>
9. Zhang C., Wu J., Liu J. Water quality monitoring system based on Internet of Things. 2020 3rd International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME), 2020, p. 727-730. <https://doi.org/10.1109/ICEDME50972.2020.00171>
10. Hou, X., Liu, X., Zeng, M. A Water Pollution Monitoring System Based on the Internet of Things. Procedia Computer Science, 2023, Vol. 228, P.2-13. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.11.002>

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Водний кодекс України. –[Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>
12. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
13. ДСТУ ISO 6059:2003. Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Етилендіамінтетраоцтовий титриметричний метод. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52715
14. Хільчевський В.К. Забокрицька М.Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод : навч. посіб. – Луцьк : Вежа-Друк, 2021. – 76 с.
15. Шестопапов О.В., Сакун А.О., Лізантан П.С., Кануннікова Н.О., Гайдучек О.Г., Томашевський Р.С., Воробйов Б.В. Аналіз показників якості води: сучасні аспекти і виклики. Екологічні науки № 3(54). 2024. С. 76-82.
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.10>
16. Методики аналізу води. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://akvo.com.ua/ua/articles/metodiki-analiza-vody>
17. Показники чистоти та свіжості води. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://krinita.com.ua/ua/encyclopedia/kak-proverit-kachestvo-vody>
18. Khilchevskiy V. WATER MONITORING IN UKRAINE: METHODS FOR ASSESSING WATER QUALITY FOR VARIOUS PURPOSES IN CONNECTION WITH CHANGES IN THE REGULATORY FRAMEWORK (2014-2021) // Моніторинг вод в Україні: методи оцінювання якості води для різних цілей у зв'язку зі змінами нормативної бази (2014-2021 pp.) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2021, №3(61). Hydrology hydrochemistry and hydroecology. 6-19.
<https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.1>.
19. Біла Т.А., Ляшенко Є.В., Охріменко О.В. Комплексонометричний метод визначення загальної твердості поверхневих вод. Водні біоресурси та аквакультура. 2020. С. 103-110. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.9>
20. Якість води. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.ukraqwa.com/vimogi-ta-metodi-kontrolyu-yakosti-vodi/?srsltid=>

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

21. Пономаренко Р.В. Науково-теоретичні основи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання регіону з урахуванням основних принципів басейнового управління водними ресурсами: монографія. – Харків: Планета-Прінт, 2020. – 112 с

22. Корніюк А.В., Пацева, І.Г. Цифровий моніторинг якості води, виклики та рішення. 2023. <https://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/8298>

23. Корпильов Д., Здобицький А., Марікуца У., Том'юк В., Панчак Р. Інтерактивна система моніторингу поверхневих вод технологіями IoT. CDS, 2022, Випуск 4, Номер 1, с. 1 – 8. <https://doi.org/10.23939/cds2022.01.001>

24 Корпильов Д., Здобицький А., Мокрицька О., Чернюх В. Розробка інтелектуальної системи моніторингу водних ресурсів. Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика, Вип.. 7, № 1, 2025, с.81-93.

25. IoT системи моніторингу. Моніторинг якості води та обладнання в реальному часі для аквакультури. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vismar-aqua.com/uk/software/iot-monitoring>

26. Jan F., Min-Allah N., Düştegö D. IoT Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications, 2021. Water, Vol. 13, no. 13, p. 1729. <https://doi.org/10.3390/w13131729>

27. Global System for Mobile Communications Association. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/>

28. Comparison of Wireless Technologies: Bluetooth, WiFi, BLE, Zigbee, Z-Wave, 6LoWPAN, NFC, WiFi Direct, GSM, LTE, LoRa, NB-IoT, and LTE-M. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://predictabledesigns.com/wireless_technologies_bluetooth_wifi_zigbee_gsm_lte_lora_nb-iot_lte-m/

29. Arduino Mega 2560. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/arduino-mega-2560-rev3-atmega2560-16au-ch340g>

30. Аналоговий датчик PH для Arduino. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod3543-ph-sensor-for->

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

arduino?srsId=AfmBOooqKX6bBJUYlvIHcS5BWk9hn5KkeGlZOLHvXa2dyvEQBsOeDIRF

31. Датчик мутності. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vittascience.com/shop/221/turbidity-sensor>

32. Водонепроникний цифровий датчик температури DS18B20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.voltaat.com/products/digital-thermometer>

33. Датчик TDS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gwater.ua/ua/p1661274092-datchik-tds.html>

34. GSM модуль GSM800L. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://beegreen.com.ua/modul-sim800l-plata-adapter-gprs-gsm-microsim-17627>

					ДП.АКІТ.11149081.00.00.000ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		