

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

Комп'ютеризована системи моніторингу якості води в акваріумі

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5
спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

Кушимов Костянтин Вікторович

Керівник д.т.н., проф. кафедри ІВТ

Подчашинський Юрій Олександрович

Рецензент _____

Житомир 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«22» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студенту Кушимову Костянтину Вікторовичу

1. Тема роботи: Комп'ютеризована системи моніторингу якості води в акваріумі

Затверджена Наказом по університету від «22» квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «11» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи вивід виміряних значень показників якості води на дисплей, розрахунок надійності та точності вимірювання температури, точність системи $\pm 0,22^{\circ}\text{C}$.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) технічне завдання, аналіз сучасних пристроїв моніторингу якості води, розробка структурної та принципової схеми, розробка алгоритму та програми, розробка друкованої плати

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму, друкована плата

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення змісту	28.04.2026-29.04.2026	
2	Аналіз аналогічних пристроїв моніторингу якості води	30.04.2026-02.05.2026	
3	Опис технічного завдання	03.05.2026-05.05.2026	
4	Обґрунтування складових системи моніторингу якості води	06.05.2026-09.05.2026	
5	Розробка структурної та принципової схем системи	10.05.2026-15.05.2026	
6	Розрахунок надійності та точності системи	17.05.2026-18.05.2026	
7	Розробка блок-схеми алгоритму та програми	20.05.2026-22.05.2026	
8	Оформлення дипломної роботи та креслень	23.05.2026-15.06.2026	

Студент _____ Кушимов К.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Подчашинський Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система моніторингу якості води в акваріумі» містить 67 сторінок, 22 рисунків, 5 таблиць, 9 формул, 19 джерел.

В роботі проводиться обґрунтування актуальності створення комп'ютеризованої системи для безперервного точного вимірювання та контролю ключових параметрів якості води в акваріумних екосистемах.

Розроблено структурну та принципову схеми системи моніторингу на базі мікроконтролера. Здійснено вибір та обґрунтування сучасної елементної бази, включаючи вимірювальні датчики температури, каламутності, рівня рН та концентрації солей. Проектування пристрою включає розробку друкованої плати, розрахунок її надійності та точності, а також створення алгоритму роботи системи та відповідного програмного забезпечення для мікроконтролера.

Ключові слова: якість води, Arduino Nano, датчик температури, датчик каламутності, датчик рівня рН, датчик концентрації солі.

ANNOTATION

The bachelor's thesis entitled "Computerized Aquarium Water Quality Monitoring System" contains 67 pages, 22 figures, 5 tables, 9 formulas, and 19 sources.

The thesis provides a substantiation of the relevance of creating a computerized system for continuous, accurate measurement and control of key water quality parameters in aquarium ecosystems.

The structural and schematic diagrams of the monitoring system based on a microcontroller have been developed. The selection and substantiation of a modern components base, including measurement sensors for temperature, turbidity, pH level, and salt concentration, have been carried out. The device design includes the development of a printed circuit board, the calculation of its reliability and accuracy, as well as the creation of the system's operation algorithm and the corresponding software for the microcontroller.

Keywords: water quality, Arduino Nano, temperature sensor, turbidity sensor, pH sensor, salt concentration sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	7
1.1. Призначення та область застосування.....	7
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри системи.....	9
1.4.Вимоги до конструктивного оформлення.....	11
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	12
2.1. Огляд існуючих систем.....	12
2.2. Порівняльний аналіз систем.....	18
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	21
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	21
3.2. Обґрунтування датчиків моніторингу якості води.....	24
3.3. Обґрунтування дисплея.....	25
3.4. Обґрунтування звукового оповіщення.....	27
3.5. Обґрунтування кнопки	28
3.6.Обґрунтування блока живлення.....	30
3.7. Структурна схема.....	32
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	33
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	33
4.2. Вибір датчиків моніторингу якості води	34
4.3. Вибір дисплея.....	39
4.4.Вибір звукового оповіщення.....	40
4.5.Вибір кнопки.....	42
4.6.Вибір блока живлення.....	42
4.7. Побудова принципово-електричної схеми.....	43
4.8. Розрахунок похибок визначення температури.....	44
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	47
5.1. Розробка алгоритму	47
5.2. Розробка програми.....	50
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	53
6.1.Розробка друкованої плати.....	53
6.2. Розрахунок надійності системи.....	55
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
7.1. Охорона праці.....	60
7.2. Охорона праці при моніторингу якості води	61
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	67

					МММТ 480.015.015 – ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Кушнімов К.В.			Комп'ютеризована системи моніторингу якості води в акваріумі Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Аркцнів
Перевірив		Подчаїшинський Ю.О						5	67
Рецензент							ДЧ «Житомирська політехніка», МТ-5		
Н. контр.									
Затверд.		Подчаїшинський Ю.О							

ВСТУП

Актуальність теми. Підтримання стабільного гідрохімічного та температурного балансу в акваріумі є базовою умовою для безпечного існування його біоти. Оскільки штучна екосистема є замкненою, будь-які коливання водневого показника (рН), стрибки температури, замутнення води чи зміна загальної мінералізації миттєво позначаються на самопочутті гідробіонтів, провокуючи критичний стрес або інтоксикацію.

На сьогодні більшість акваріумістів здійснюють догляд ручним способом, застосовуючи крапельні експрес-тести або періодичні заміри портативними інструментами. Такий підхід має суттєвий недолік — він не дозволяє фіксувати динаміку змін у режимі 24/7, через що небезпечні відхилення параметрів часто виявляються із запізненням, коли шкоди організмам уже завдано.

Ефективним розв'язанням цієї проблеми є впровадження засобів цифрової автоматизації на базі мікроконтролера Arduino Nano. Інтеграція вимірювальних модулів в єдину комп'ютеризовану систему дає змогу розгорнути безперервний моніторинг середовища в реальному часі, оперативно виводити поточні дані на рідкокристалічний екран та миттєво активувати звукову сигналізацію у разі виходу показників за безпечні межі. Завдяки цьому мінімізується людський фактор, а процес догляду за акваріумом стає максимально надійним.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання та контролю параметрів якості води в акваріумному середовищі.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система моніторингу якості води в акваріумі, побудована на основі апаратної платформи Arduino Nano, вимірювальних датчиків та засобів індикації й сигналізації.

Метою даного дипломного проєкту є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу якості води в акваріумі на базі мікроконтролера Arduino Nano з високою точністю та надійністю роботи.

Для досягнення цієї мети поставлено такі **завдання**:

1. Аналіз існуючих технічних рішень та пристроїв моніторингу якості води в акваріумі.

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

2. Обґрунтування структури системи та вибір елементної бази.
3. Розробка структурної та принципової електричної схем системи моніторингу.
4. Проєктування та розробка друкованої плати пристрою.
5. Розробка блок-схеми алгоритму функціонування та відповідного програмного забезпечення для мікроконтролера.
6. Розрахунок показників надійності та оцінка точності вимірювальних каналів системи.
7. Опис охорони праці при користуванні та розробці комп'ютеризованої системи моніторингу якості води в акваріумі.

Створення комп'ютеризованої системи на платформі Arduino Nano відкриває можливість для цілодобового стеження за ключовими фізико-хімічними характеристиками водного середовища, такими як температурний режим, водневий показник, прозорість та рівень мінералізації. Завдяки впровадженню цієї розробки досягається висока точність вимірювань, мінімізуються ризики пікових відхилень параметрів, а також забезпечується швидка реакція на будь-які загрози біобалансу. У підсумку, такий пристрій поєднує в собі технічну надійність, доступність елементної бази та суттєво оптимізує процес підтримання життєдіяльності акваріумної екосистеми.

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Призначення пристрою Комп'ютеризована система моніторингу якості води призначена для безперервного (у режимі реального часу) автоматичного вимірювання, контролю та аналізу ключових фізико-хімічних параметрів водного середовища.

Пристрій забезпечує паралельний збір даних з чотирьох вимірювальних каналів:

- температури води;
- водневого показника / кислотності;
- рівня загальної мінералізації та концентрації солей;
- ступеня прозорості та каламутності.

Основним призначенням системи є візуалізація вимірних значень на дисплеї, оперативне виявлення небезпечних відхилень від заданих технологічних чи біологічних норм, а також миттєва активація звукової сигналізації для попередження користувача про загрозу порушення біобалансу.

Широкий функціонал, низька собівартість та використання доступної елементної бази на основі мікроконтролера Arduino Nano визначають такі основні сфери застосування розробленої системи:

1. Домашня та професійна акваріумістика: підтримання оптимальних умов життєдіяльності для екзотичних риб, безхребетних та вибагливих акваріумних рослин у замкнених штучних екосистемах різного об'єму.

2. Аквапоніка та гідропоніка: контроль якості поживних розчинів та водного середовища, де одночасно вирощуються аквакультури та рослини, оскільки рівень солей і рН є критичними для живлення флори.

3. Рибне господарство та інкубатори: використання на невеликих рибоводних заходах, штучних ставках або в закритих установках водопостачання (УЗВ) для моніторингу стану води на етапах розведення малька.

4. Лабораторні та навчальні цілі: застосування як наочного стенда або портативного приладу в закладах освіти та науково-дослідних лабораторіях для

					МКАТ 480.023.027 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

демонстрації принципів побудови комп'ютеризованих вимірювальних систем та екологічного моніторингу стану водних ресурсів.

1.2. Умови експлуатації

Для забезпечення номінальної точності вимірювальних каналів, надійності електронних компонентів та тривалого терміну служби комп'ютеризованої системи моніторингу якості води, пристрій має експлуатуватися в межах таких кліматичних та механічних чинників:

- температура повітря в приміщенні: від +15 °С до +35 °С (охоплює стандартні умови житлових та лабораторних приміщень);
- відносна вологість повітря: до 75 % при температурі +25 °С (враховано можливе випаровування води поблизу акваріума);
- атмосферний тиск: від 630 до 800 мм рт. ст. (84.0–106.7 кПа).
- навколо корпусу пристрою мають бути відсутні агресивні хімічні випаровування, концентровані кислоти, луги та струмопровідний пил, що можуть викликати корозію друкованої плати або деградацію контактів.
- пристрій призначений для стаціонарного встановлення, у місці монтажу мають бути відсутні постійні вібрації, зовнішні удари, поштовхи чи сильні електромагнітні завади.
- характер роботи: тривалий, безперервний (цілодобовий моніторинг у режимі реального часу).
- номінальна напруга живлення електронної частини: 5 В постійного струму (DC);

1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютеризована система моніторингу якості води в акваріумі має чітко визначену структуру входних, вихідних інформаційних та живильних потоків.

Вхідна інформація та сигнали системи:

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Керуючий вхід: дискретний сигнал від кнопки для перемикання режимів відображення інформації, скидання звукового сповіщення або ініціалізації налаштувань;
- Цифровий сигнал від датчика температури що передає дані про поточну температуру води за протоколом One-Wire;
- Аналоговий сигнал від датчика каламутності, що несе інформацію про оптичну щільність та каламутність води;
- Аналоговий сигнал від модуля датчика рівня рН, пропорційний концентрації іонів водню у розчині;
- Аналоговий сигнал від модуля датчика вмісту солей, який відображає питому провідність та загальну мінералізацію (вміст солей) води.
- Вхід електроживлення: постійна напруга 5 В від автономного джерела живлення (акумулятора), що підключається через роз'єм X1 і подається на мікроконтролер та вимірювальні модулі.

Вихідна інформація та сигнали системи:

- Основний вихід даних: текстові та цифрові значення температури (°C), водневого показника (рН), каламутності (NTU) та мінералізації (ppm), які передаються через інтерфейс I2C на рідкокристалічний дисплей HG1 (LCD 1602).
- Аварійна сигналізація: ШІМ-сигнал або дискретний сигнал керування, що активує динамік-модуль для звукового сповіщення користувача у разі виходу будь-якого з параметрів за межі безпечної норми.

Центральною керуючою ланкою є мікроконтролер. Він здійснює циклічне опитування цифрових та аналогових входів, виконує математичну фільтрацію та масштабування сигналів з датчиків, обчислює реальні фізико-хімічні показники, порівнює їх із критичними уставками, керує оновленням інформації на дисплеї та безпосередньо контролює лінію звукового сповіщення.

Технічні характеристики системи:

- Канал температури: діапазон вимірювання від +5 °C до +50 °C; абсолютна похибка не більше ± 0.5 °C;

					МКАТ 480.023.027 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- Канал кислотності: діапазон вимірювання від 0 до 14 рН; абсолютна похибка не більше ± 0.1 рН;
- Канал мінералізації (TDS): діапазон вимірювання від 0 до 1000 ppm; відносна похибка не перевищує $\pm 5.0\%$;
- Канал каламутності: діапазон вимірювання від 0 до 4000 NTU; відносна похибка не перевищує $\pm 5.0\%$.
- Режим роботи: автоматичний, безперервний (моніторинг 24/7 із періодичним циклічним оновленням даних).
- Елементна база: система спроектована на основі доступних, високоінтегрованих та уніфікованих компонентів. Це забезпечує високу ремонтпридатність, швидку взаємозамінність деталей та низьку вартість апаратної реалізації.

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Система повинна розміщуватись в корпусі з габаритами 165×95×55 мм.

Мікроконтролер, друкована плата та звуковий динамік монтуються всередині корпусу. Рідкокристалічний дисплей та кнопка керування виводяться на передню панель. Вимірювальні датчики (температури, рН, каламутності та солей) встановлюються безпосередньо в акваріумі та підключаються за допомогою гнучких дротів.

Час безвідмовної роботи системи повинен складати не менше 13 000 годин.

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Огляд існуючих систем

Сучасний вітчизняний ринок вимірювальної техніки для акваріумістики характеризується дефіцитом доступних комплексних систем, які здатні в автоматичному режимі одночасно контролювати весь спектр базових гідрохімічних показників. Переважно комерційний сегмент представлений локальними портативними приладами (рН-метрами, TDS-метрами чи термометрами), що функціонують як ізольовані пристрої. Це змушує користувача здійснювати моніторинг вручну, самотійно фіксувати результати вимірювань із різних джерел та витрачати час на їх аналітичне порівняння, що виключає можливість оперативного реагування на критичні зміни середовища.

На противагу цьому, у світовій практиці чітко простежується тренд на інтеграцію вимірювальних каналів в єдині аналітичні станції з підтримкою бездротових технологій та хмарних сервісів. Серед існуючих рішень та комерційних аналогів варто виділити такі технічні підходи:

1. Мультипараметричні Wi-Fi станції (на прикладі TuYa Smart Water Quality Tester): багатофункціональні цифрові контролери, які забезпечують безперервний збір даних (рН, TDS, температура) за допомогою занурювальних електродів і транслюють інформацію в реальному часі на мобільні платформи користувача.

2. Оптико-цифрові експрес-системи (на прикладі JBL ProScan): комбіновані рішення, що використовують хімічні тест-смужки, які після взаємодії з водою скануються камерою смартфона через спеціалізований додаток для цифрової колориметрії та аналізу результатів.

3. Класичні гідрохімічні експрес-лабораторії (на прикладі API Freshwater Master Test Kit): комплекси для ручного капельного тестування, які хоч і забезпечують високу точність визначення концентрації іонів (рН, аміак, нітрити), проте є дискретними за характером дії та потребують постійних витрат реагентів.

4. Багатокомпонентні індикаторні смужки (на прикладі Tetra 6 in 1): бюджетні засоби швидкого візуального оцінювання кількох параметрів одночасно,

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

які мають високу похибку вимірювання і не підходять для автоматизованого моніторингу.

5. Професійні портативні прилади (на прикладі Milwaukee MW102): високоточні вимірювачі лабораторного класу з виносними електродами, які забезпечують мінімальну похибку вимірювання рН та температури, але є монофункціональними й призначені для періодичних ручних замірів.

Зазначені закордонні розробки демонструють високий рівень інтеграції та точності, що слугує орієнтиром для створення завадостійкого, але більш доступного вітчизняного аналога. Для детального порівняльного аналізу та обґрунтування технічних рішень дипломного проєкту розглянемо три найбільш поширені типи систем, які відображають різні підходи до контролю параметрів: цифрову мультипараметричну станцію, оптико-цифрову систему та професійний портативний прилад.

Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester зображено на рис.2.1.



Рис.2.1. Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester

Мультипараметричний контролер Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester (моделі типу pH/TDS/Salt/S.G/Temperature) є високоінтегрованою цифровою станцією, призначеною для безперервного аналізу гідрохімічного стану середовища

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

в реальному часі. Технічні можливості приладу та комплексний збір даних дозволяють ефективно застосовувати його для автоматизованого контролю параметрів в акваріумних екосистемах, замкнених установках гідропоніки, штучних басейнах та інших технологічних водних резервуарах.

Технічні характеристики Online APP Monitoring WiFi:

- Параметри вимірювання: рН, загальна мінералізація (TDS), солоність (Salt), питома вага (S.G.), температура;
- Діапазони вимірювання:
- рН: 0.00–14.00;
- TDS: 0–19900 ppm;
- Солоність: 0–199.0 ppt;
- Питома вага: 0.990–1.400;
- Температура: 0–50°C (32–122°F);
- Роздільна здатність:
- рН: 0.01;
- TDS: 1 ppm (<1999 ppm); 10 ppm (>1999 ppm);
- Солоність: 1 ppt (<1999 ppt); 10 ppt (>1999 ppt);
- Питома вага: 0.001;
- Температура: 0.1°C (0.2°F);
- Точність:
- рН: ±0.1;
- TDS, солоність, питома вага: ±2% F.S.;
- Температура: ±1.0°C;
- Компенсація температури: 0–50°C;
- Розміри: 100 x 75 x 22 мм;
- Вага: приблизно 120 г;
- Ціна: 2430грн.

Функціональні можливості та особливості керування Online APP Monitoring WiFi:

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1. Інтерфейс бездротового зв'язку: інтеграція в локальну мережу Wi-Fi та синхронізація із хмарною платформою TuYa Smart (під керуванням операційних систем iOS та Android) для забезпечення цілодобового дистанційного моніторингу.

2. Реєстрація та архівування даних: автоматичне ведення логів вимірювань із тривалістю зберігання інформації в пам'яті до 30 діб, а також підтримка функції експорту масивів даних у формат таблиць Excel для подальшого статистичного аналізу.

3. Адаптивна сигналізація відхилень: можливість програмного задання верхніх і нижніх меж (уставок) для кожного контролюваного параметра з автоматичною генерацією та відправкою push-повідомлень користувачу у разі виходу показників за безпечний діапазон.

4. Метрологічне налаштування: наявність функції цифрового калібрування вимірювальних каналів для компенсації дрейфу характеристик датчиків та забезпечення номінальної точності.

5. Конструктивне виконання: ергономічний та компактний корпус пристрою, комплектація спеціальними еластичними елементами кріплення (присосками) для швидкого й надійного монтажу виносних електродів на стінках акваріума[1].

Milwaukee MW102 зображено на рис.2.2. Портативний мікропроцесорний прилад Milwaukee MW102 PRO+ є спеціалізованим засобом вимірювальної техніки лабораторного класу, призначеним для оперативного й високоточного визначення водневого показника (pH) та температурного режиму рідких середовищ. Дане технічне рішення поєднує в собі мобільність ручного експрес-аналізатора з високою метрологічною надійністю стаціонарного обладнання, що дозволяє ефективно експлуатувати його в лабораторній практиці, аквакультурі, системах гідропоніки та на підприємствах харчової промисловості.

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рис.2.2. Milwaukee MW102

Технічні характеристики Milwaukee MW102 PRO+:

- Діапазон вимірювання рН: -2.00 до 16.00 рН;
- Точність рН: ± 0.02 рН;
- Роздільна здатність рН: 0.01 рН;
- Діапазон температури: -5 до 70°C;
- Точність температури: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ при 25°C;
- Температурна компенсація: автоматична, 0–70°C;
- Калібрування: автоматичне, 1 або 2 точки;
- Електрод рН: SE220 з подвійним з'єднанням (в комплекті);
- Температурний зонд: MA830R з нержавіючої сталі (в комплекті);
- Живлення: 1 $\times$ 9В батарея (в комплекті);
- Час роботи від батареї: приблизно 300 годин безперервного використання;
- Автовимкнення: після 8 хвилин бездіяльності;
- Розміри: 145 $\times$ 80 $\times$ 40 мм;
- Вага: 220 г (з батареєю);
- Температурний діапазон експлуатації: 0–50°C; максимальна вологість: 95%;

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

–Гарантія: 12 місяців на прилад, 6 місяців на електрод;

–Ціна: 15040грн.

Області оптимального застосування вимірювача Milwaukee MW102 PRO+:

1. Аквакультура та керовані біосистеми: безперервний вибірковий контроль активної кислотності (pH) та температурного режиму водного середовища для підтримання стабільного біологічного балансу та створення оптимальних умов життєдіяльності гідробіонтів і флори.

2. Харчова індустрія: технологічний експрес-контроль рівня pH рідких, в'язких та пастоподібних харчових продуктів і сировини (зокрема, молочної продукції, соусів та ферментованих сумішей) на відповідність стандартам якості.

3. Лабораторний аналіз та науково-дослідна діяльність: проведення точних аналітичних вимірювань під час виконання хіміко-біологічних експериментів, де висуваються підвищені вимоги до метрологічної надійності результатів.

4. Польові та екологічні дослідження: моніторинг природних водойм та стічних вод безпосередньо на об'єктах контролю, що забезпечується завдяки автономному живленню, ергономічній конструкції та мобільності вимірювального комплексу. [2]

Цифровий тестер QNCIGER Water Quality Tester 3 in 1 Digital Water TDS Meter представлений на рис.2.3.



Рис.2.3. Цифровий тестер QNCIGER Water Quality Tester 3 in 1

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Портативний цифровий аналізатор QNCIGER Water Quality Tester 3-B-1 Digital Water TDS Meter є інтегрованим триканальним засобом експрес-контролю, що поєднує в собі функції вимірювання питомої електричної провідності (EC), загального вмісту розчинених твердих речовин (TDS / мінералізації) та температурного режиму рідкого середовища. Конструктивні особливості та функціональні можливості даного пристрою дозволяють ефективно застосовувати його для оцінки якості питної води, а також для оперативного моніторингу параметрів у штучних басейнах, гідропонних комплексах та акваріумних екосистемах.

Технічні характеристики цифровий тестер QNCIGER:

- Діапазон вимірювання TDS: 0–9990 ppm;
- Діапазон вимірювання EC: 0–9990 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Діапазон вимірювання температури: 0–80°C;
- Точність: $\pm 2\%$;
- Калібрування: Автоматичне, заводське калібрування;
- Автовимкнення: Через 2 хвилини бездіяльності;
- Живлення: 2 $\times$ батарейки LR44 (в комплекті);
- Розміри: приблизно 142 $\times$ 25 $\times$ 15 мм;
- Вага: близько 50 г;
- Ціна: приблизно 1332грн.

Цей тестер буде корисним для:

- Власників акваріумів: Контроль якості води для здоров'я риб та рослин.
- Гідропоніки: Моніторинг рівня поживних речовин у воді.
- Басейнів: Перевірка чистоти та безпеки води.
- Питної води: Оцінка якості водопровідної або бутильованої води [3].

2.2. Порівняльний аналіз систем

Для об'єктивного оцінювання технічних та експлуатаційних особливостей розроблених засобів контролю проведено порівняльний аналіз трьох

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

комерційних зразків, результати якого зведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця пристроїв

Параметр	Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester	Milwaukee MW102	QNCIGER Water Quality Tester 3-in-1
1	2	3	4
Тип пристрою	Комплексний смарт-тестер з WiFi та мобільним додатком	Професійний переносний рН/температурний метр	Побутовий цифровий тестер для TDS/EC/температури
Контроль через додаток	(Tuuya Smart, iOS/Android)	-	-
Параметри вимірювання	pH, TDS, сіль, SG (питома вага), температура	pH, температура	TDS, EC, температура
Діапазон рН	0–14	-2.00 – 16.00	-
Точність рН	±0.01	±0.02	-
Температурний діапазон	0 – 80°C	-5 – 70°C	0 – 80°C
Температурна компенсація (АТС)	+	+	- (може бути непряма)
Автоматичне калібрування	(через додаток)	(1–2 точки)	- (заводське)
Інтерфейс	Wi-Fi + мобільний додаток	Кнопковий з дисплеєм	LCD-дисплей
Живлення	USB / акумулятор	9В батарейка	2 × LR44 батарейки
Рівень користувача	Середній–професійний	Професійний	Побутовий / початковий рівень
Орієнтовна ціна	2430грн	13050грн	1332грн
Основне призначення	Акваріуми, системи розумного будинку, лабораторії	Лабораторії, акваріуми, харчова промисловість	Домашнє використання, перевірка питної води

Аналіз сучасного інструментарію виявив у наявних архітектурних рішеннях суттєві функціональні та економічні компроміси. Мультипараметричні Wi-Fi контролери серійного виробництва часто мають нестабільні метрологічні характеристики вимірювальних каналів та обмежений фіксований перелік параметрів, у якому зазвичай відсутні такі важливі індикатори біобалансу, як каламутність (оптична щільність) середовища.

Високоточний аналізатор Milwaukee MW102 забезпечує низьку похибку вимірювань, проте характеризується вузькою спеціалізацією (лише два канали контролю), високою комерційною вартістю та повною відсутністю мережових

інтерфейсів для віддаленого моніторингу. Портативний тестер QNCIGER 3-в-1 позиціонується як інструмент побутового класу, що має обмежені можливості апаратного або програмного калібрування і не підлягає інтеграції чи масштабуванню.

На противагу існуючим аналогам, запропонований у дипломному проєкті комплекс на базі мікроконтролера Arduino Nano є гнучкою комп'ютеризованою платформою з відкритою архітектурою. Вона дозволяє довільно адаптувати конфігурацію датчиків (включаючи оптичний канал каламутності та кондуктометричний канал мінералізації), забезпечує високу завадостійкість вимірювань, можливість автономної реєстрації подій та локальної сигналізації за низької собівартості компонентів. Впровадження такої системи є актуальним для вітчизняного сектору автоматизації, де відчувається гострий дефіцит доступних інтегрованих засобів екологічного та гідрохімічного моніторингу.

					МКАТ 480.023.027 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Розроблювана комп'ютеризована система повинна виконувати наступні функції:

- Безперервне вимірювання температури, водневого показника (рН), каламутності та концентрації солей (TDS) в акваріумі;
- Автоматична обробка вимірювальних сигналів та координація роботи вихідних пристроїв;
- Візуалізація поточних метрологічних показників якості води на рідкокристалічному екрані в реальному часі;
- Спрацювання звукової аварійної сигналізації при досягненні граничних критичних значень будь-якого з параметрів;
- Забезпечення автономного живлення напругою 5 В та можливість ручного керування роботою системи.

Для виконання зазначених функцій необхідні наступні елементи системи:

1. Комплект датчиків (датчик температури, датчик рівня рН, датчик каламутності, датчик вмісту солей) – для безперервного зняття фізико-хімічних параметрів водного середовища та їх перетворення в електричні сигнали;

2. Мікроконтролер – як центральний обчислювальний орган для збору даних з вимірювальних каналів, математичної обробки та координації всієї периферії;

3. Дисплей – для виводу текстової та цифрової інформації про поточний стан якості води в реальному часі;

4. Динамік-модуль – для звукового сповіщення користувача про виникнення аварійних відхилень від норми;

5. Кнопка – для ручного ввімкнення, вимкнення або ініціалізації режимів роботи системи;

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Блок живлення – для забезпечення стабільного автономного електроживлення напругою 5 В постійного струму;

Взаємодія всіх зазначених апаратних компонентів забезпечує високу точність моніторингу, надійність фіксації аварійних станів та автономність функціонування системи без необхідності постійного втручання оператора.

3.1. Обґрунтування мікроконтролеру

Сучасний етап розвитку приладобудування та засобів автоматизації характеризується масовим переходом від жорсткої апаратної логіки до гнучких цифрових систем керування, основою яких є однокристальні обчислювальні пристрої. Інтеграція обчислювального ядра, пам'яті та периферійних вузлів в межах одного напівпровідникового кристала дозволяє створювати малогабаритні, але високофункціональні вимірювальні комплекси. Використання мікроконтролерних компонентів у сучасній інженерній практиці суттєво підвищує завадостійкість інформаційних каналів, знижує енергоспоживання кінцевих пристроїв та відкриває можливості для програмної модернізації систем без зміни їхньої схемотехнічної архітектури.

Завдяки технологічному прогресу у сфері мікроелектроніки, сучасна елементна база здатна виконувати первинну фільтрацію та математичну обробку великих масивів даних безпосередньо у місці їх збору. Це нівелює потребу у використанні громіздких аналогових схем узгодження сигналів, мінімізує апаратну похибку та дозволяє реалізувати складні цифрові протоколи обміну даними між окремими модулями системи моніторингу.

Серед усього різноманіття представлених на світовому ринку 8-розрядних архітектур, особливе місце посідає сімейство мікроконтролерів AVR з RISC-архітектурою від компанії Atmel (Microchip Technology). Дане конструктивне рішення відрізняється високою швидкодією завдяки виконанню більшості інструкцій за один тактовий імпульс.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуманий набір внутрішніх регістрів та апаратна реалізація інтерфейсів передачі даних роблять ці кристали оптимальним вибором для побудови багатоканальних вимірювальних систем. Важливою інженерною перевагою є також повна сумісність архітектури із сучасними крос-компіляторами мов високого рівня (зокрема C/C++), що значно оптимізує кодову базу та пришвидшує процес налагодження програмного забезпечення.

Основними технічними критеріями, які визначають розвиток і тривалу популярність цієї обчислювальної платформи, є:

- конвеєрна обробка команд, що максимізує реальну продуктивність процесора;
- розвинені режими енергозбереження, які дозволяють проектувати автономні прилади;
- наявність інтегрованого багатоканального аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та енергонезалежної пам'яті (EEPROM) для збереження налаштувань.

Уніфікація вбудованих периферійних модулів (таких як апаратні шини UART, SPI та I2C) дозволяє безпосередньо, без додаткових узгоджувальних елементів, підключати до мікроконтролера сучасні цифрові та аналогові вимірювальні датчики.

Зважаючи на необхідність забезпечення компактності, низької собівартості та високої ремонтпридатності, для апаратної реалізації системи моніторингу якості води було обрано платформу Arduino Nano, яка функціонує на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328. Обсяг внутрішньої Flash-пам'яті цього кристала є цілком достатнім для розміщення розробленого керуючого алгоритму, а наявної кількості ліній аналогового та цифрового вводу-виводу вистачає для паралельного опитування чотирьох вимірювальних каналів (рН, TDS, температури й каламутності) та керування пристроями індикації та сигналізації. Таким чином, цей вибір є цілком раціональним та всебічно обґрунтованим.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Обґрунтування датчиків моніторингу якості води

Ефективність, точність та метрологічна надійність комп'ютеризованої системи моніторингу безпосередньо залежать від правильного вибору первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків). Оскільки аналіз гідрохімічного стану акваріумного середовища вимагає одночасного відстеження кількох різнорідних фізико-хімічних величин, вибір чутливих елементів здійснювався за критеріями сумісності з мікроконтролером Arduino Nano, низької похибки вимірювань, тривалого терміну служби в умовах постійного занурення та оптимальної комерційної вартості.

У сучасній інженерній практиці для контролю водного середовища використовуються різноманітні аналітичні методи: від об'ємних лабораторних аналізаторів до напівпровідникових та оптичних інтегрованих модулів. Для побудови автоматизованого комплексу пріоритет надавався датчикам із високим ступенем готовності сигналів (наявністю плат узгодження), що мінімізує потребу у складних аналогових фільтрах та додаткових підсилювачах.

Для реалізації вимірювальних каналів проектного пристрою було проведено аналіз ринку сучасної сенсорики та обрано такі компоненти:

1. Канал вимірювання температури: Контроль термічного режиму є критично важливим, оскільки температура безпосередньо впливає на швидкість хімічних реакцій та життєдіяльність гідробіонтів. Для цього масово використовуються як аналогові термістори, так і напівпровідникові інтегральні схеми. З огляду на необхідність високої завадостійкості при передачі сигналу на відстань, було обрано цифровий датчик DS18B20. Канал визначення активної кислотності: Вимірювання водневого показника (pH) базується на потенціометричному методі. Для забезпечення лабораторної точності та швидкого відгуку в системі застосовано спеціалізований комбінований pH-електрод промислового типу із платою сполучення, яка масштабує слабкий ЕРС-сигнал датчика до стандартного аналогового діапазону напруг (0–5 В), зрозумілого для АЦП мікроконтролера.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Канал оцінки загальної мінералізації: Для фіксації концентрації розчинених солей та загального вмісту твердих речовин використовується кондуктометричний метод, заснований на вимірюванні питомої електропровідності рідкого середовища. Оптимальним рішенням для інтеграції в мікропроцесорну систему став аналоговий TDS-датчик аналітичного класу. Його конструкція мінімізує ефект поляризації електродів і забезпечує стабільну лінійну залежність вихідної напруги від рівня солоності води.

3. Канал контролю прозорості та замунення: Оцінка наявності завислих часток і забруднень реалізується оптичним методом, заснованим на вимірюванні коефіцієнта пропускання та розсіювання світлового потоку. Для цього було обрано спеціалізований датчик каламутності SEN0189 від DFROBOT. Цей модуль поєднує в собі інфрачервоний випромінювач і фототранзистор, працює у сумісному з Arduino аналоговому режимі та дозволяє оперативно фіксувати найменші зміни оптичної щільності акваріумної води.

Таким чином, сформований комплекс вимірювальних засобів у складі цифрового термодатчика DS18B20, потенціометричного рН-датчика, кондуктометричного TDS-сенсора та оптичного датчика каламутності SEN0189 повністю перекриває вимоги технічного завдання, забезпечуючи високу метрологічну гнучкість та надійність системи моніторингу якості води.

3.3. Обґрунтування дисплея

Для забезпечення оперативного візуального моніторингу гідрохімічного стану акваріумного середовища та відображення виміряних фізико-хімічних параметрів у реальному часі, до складу апаратної частини системи необхідно інтегрувати засіб індикації.

У розроблюваному пристрої як базовий елемент відображення запропоновано використовувати символьний рідкокристалічний дисплей типу

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

LCD 1602 (конфігурація: два рядки по 16 знаків), що функціонує під керуванням промислового індустріального контролера HD44780.

Основними інженерними та експлуатаційними перевагами обраного індикатора є:

- Висока конструктивна надійність: Символьні рідкокристалічні модулі, на відміну від тонкоплівкових графічних дисплеїв (наприклад, OLED чи TFT), характеризуються підвищеною стійкістю до тривалого світлового випромінювання та деградації пікселів. Вони мають високу завадостійкість, що є критично важливим при безперервній експлуатації в одному контурі з аналоговими та цифровими вимірювальними перетворювачами.

- Достатня інформаційна місткість: Формат матриці екрана (2x16 символів) дозволяє компактно та структуровано вивести ключові показники якості води. Програмне забезпечення мікроконтролера реалізує циклічне або комбіноване виведення даних, де в першому рядку відображаються поточні значення температури та кислотності, а в другому – рівень мінералізації та каламутності.

- Ергономічність та якість зчитування даних: Наявність інтегрованого світлодіодного підсвічування та можливість апаратного підлаштування контрасту рідких кристалів за допомогою резистивного дільника забезпечують відмінну видимість символів. Користувач може безперешкодно фіксувати показання приладу за будь-якого рівня зовнішнього освітлення — від яскравого штучного світла до повної темряви.

- Повна програмна уніфікація: Керуючий чіп HD44780 є загальноприйнятим світовим стандартом у мікроелектроніці. Це гарантує повну сумісність на рівні архітектурних команд, наявність стабільних та оптимізованих бібліотек у середовищі Arduino IDE, а також значно спрощує та пришвидшує написання програмного коду для мікроконтролера ATmega328.

- Оптимізація інтерфейсу підключення: Замість класичного паралельного з'єднання, що потребує значної кількості ліній вводу-виводу мікроконтролера, у даному проєкті передбачено використання I2C-адаптера

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(на базі мікросхеми PCF8574). Це дозволяє здійснювати повне керування дисплеєм всього через два комунікаційні виводи (лінії SDA та SCL), заощаджуючи цифрові порти Arduino Nano для паралельного підключення чотирьох датчиків та звукового сповіщувача.

Таким чином, інтеграція символьного дисплея LCD 1602 у поєднанні з інтерфейсним модулем I2C є технічно виваженим та економічно обґрунтованим рішенням. Воно забезпечує стабільність відображення метрологічної інформації, спрощує схемотехніку друкованої плати та мінімізує загальну собівартість розроблюваного вимірювального комплексу.

3.4. Обґрунтування звукового оповіщення

Для забезпечення надійної експлуатації керованої біосистеми та оперативного реагування на позаштатні ситуації, до складу розроблюваного комплексу необхідно інтегрувати канал аварійної сигналізації. Оскільки постійний візуальний контроль за показаннями дисплея з боку користувача є неможливим, система повинна самостійно генерувати інтенсивний акустичний сигнал у разі виходу будь-якого з контрольованих гідрохімічних параметрів (температури, кислотності, мінералізації або каламутності) за межі встановлених безпечних допусків.

Основними технічними та інженерними критеріями вибору звукового випромінювача для даної системи є:

- Ефективність привернення уваги: Акустичний сигнал має високу швидкість сприйняття і здатний миттєво сповістити користувача про критичну зміну параметрів води, що дозволяє уникнути загибелі флори та гідробіонтів.
- Апаратна простота та низьке енергоспоживання: Вибраний пристрій повинен мати мінімальний струм споживання, щоб не перевантажувати лінії живлення мікроконтролера Arduino Nano та коректно функціонувати в умовах автономної роботи від акумулятора.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Гнучкість програмного керування: Для реалізації різних типів сигналів (переривчастий тон для легких відхилень, безперервний — для критичних аварій) пріоритет надавався динамічним модулям, частотою та тривалістю звучання яких можна керувати за допомогою алгоритмічних методів (наприклад, через широтно-імпульсну модуляцію або функцію `tone()`).

З огляду на зазначені вимоги, для реалізації схеми сигналізації було обрано пасивний п'єзоелектричний динамік-модуль KY-006 (Passive Buzzer).

На відміну від активних бузерів із фіксованою частотою звуку, модуль KY-006 не має вбудованого генератора, що дозволяє програмувати тональність та створювати різноманітні звукові малюнки залежно від типу аварії за допомогою зміни частоти керуючого сигналу з мікроконтролера ATmega328. Модуль виконаний на зручній друкованій платі з трьома стандартними виводами (живлення, заземлення та сигнальний порт), що спрощує його монтаж і підключення до цифрових портів Arduino Nano без використання додаткових силових транзисторних ключів.

Таким чином, інтеграція динаміка-модуля KY-006 є раціональним інженерним рішенням, яке забезпечує високу інформативність аварійної сигналізації за мінімальних схемотехнічних витрат та низької собівартості апаратної частини.

3.5. Обґрунтування кнопки

Для забезпечення інтерактивної взаємодії користувача з комп'ютеризованою системою та можливості оперативного втручання в алгоритм її роботи, до апаратної структури пристрою необхідно включити елемент ручного керування.

Незважаючи на високий рівень автоматизації обробки даних, у процесі експлуатації виникає потреба в ручному перемиканні режимів відображення інформації, скиданні звукового сигналу тривоги або примусовому перезапуску системи.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними критеріями вибору комутаційного елемента для розроблюваного комплексу є:

- Конструктивна надійність та зносостійкість: Механічний вузол повинен витримувати велику кількість циклів натискань без втрати чіткості фіксації та мати стабільні електричні характеристики контактної групи.

- Ергономічність та зручність монтажу: Кнопка має легко інтегруватися в лицьову панель пластикового корпусу системи моніторингу та забезпечувати зручний тактильний відгук для оператора.

- Схемотехнічна простота: Комутаційний елемент повинен підключатися до цифрових портів мікроконтролера за мінімальної кількості додаткових дискретних компонентів.

Зважаючи на зазначені інженерні вимоги, як орган керування було обрано тактову кнопку циліндричної форми типу PBS-110 (без фіксації положення, нормально розімкнена).

Кнопка PBS-110 є промисловим стандартом для побудови інтерфейсів «людина-машина» у малогабаритних приладах. Завдяки різьбовому з'єднанню та гайці, що йдуть у комплекті, вона надійно фіксується у круглому отворі на корпусі пристрою, що значно спрощує слюсарну обробку приладової панелі порівняно з прямокутними перемикачами. Компактні розміри та чітке клацання при натисканні забезпечують зручність експлуатації.

У схемі підключення до Arduino Nano кнопка PBS-110 задіює лише один цифровий порт. Для запобігання невизначеному стану входу мікроконтролера («плаваючого потенціалу») використовується внутрішній підтягуючий резистор процесора ATmega328 (режим INPUT_PULLUP), що дозволяє підключити кнопку безпосередньо між портом і шиною заземлення (GND) без використання зовнішніх резисторів. Ефект брязкіту контактів, характерний для будь-яких механічних кнопок, ефективно усувається програмним методом (введенням невеликої затримки delay() або таймерів у керуючому коді).

Таким чином, вибір тактової кнопки PBS-110 є раціональним та технічно виправданим рішенням, яке гарантує тривалий термін служби інтерфейсу

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування, простоту збирання та мінімальну собівартість загальної схеми пристрою.

3.6.Обґрунтування блока живлення

Стабільність функціонування та метрологічна надійність комп'ютеризованої системи моніторингу якості води безпосередньо залежать від якості її електроживлення. Оскільки до складу пристрою входить низка різнотипних аналогових і цифрових периферійних вузлів (чутливі датчики рН, TDS, каламутності, а також цифрові модулі відображення та сигналізації), джерело живлення повинно забезпечувати номінальну напругу з мінімальним рівнем пульсацій та мати достатній запас за потужністю для покриття пікових навантажень.

– При проєктуванні системи було проведено розрахунок сумарного струму споживання всіх апаратних компонентів приладу:

– Мікроконтролерна платформа Arduino Nano (ATmega328) – до 50мА;
– Символьний дисплей LCD 1602 з активованим I2C-адаптером та підсвічуванням – до 120мА;

– Аналоговий датчик каламутності SEN0189 (включно з ІЧ-випромінювачем) – до 40 мА;

– Модуль вимірювання солевмісту TDS та плата узгодження рН-електрода – разом до 60мА;

– Звуковий динамік-модуль KY-006 (бузер) у режимі максимальної гучності – до 50мА;

– Додатковий запас на перехідні процеси та комутаційні втрати – близько 30%.

Максимальний сумарний струм споживання системи у піковому режимі (коли одночасно активні всі датчики, працює підсвічування екрана та безперервно звучить аварійна сирена) не перевищує 400-500мА.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно, використання джерел живлення з низьким вихідним струмом (наприклад, стандартних USB-портів комп'ютера або слабких адаптерів на 500 мА є небажаним, оскільки це може призвести до просідання напруги, збоїв у роботі процесора та спотворення результатів аналогово-цифрового перетворення датчиків.

З огляду на це, як основне джерело енергії було обрано мережевий блок живлення 5В 2А з роз'ємом 5.5-2.5 мм.

Дане інженерне рішення має такі переваги:

- Високий технологічний запас потужності: Номінальний вихідний струм 2 А (2000 мА) у кілька разів перевищує максимальні потреби системи. Це гарантує, що адаптер працюватиме в полегшеному (холодному) тепловому режимі, що суттєво подовжує його експлуатаційний ресурс та виключає ризик перегріву.

- Стабільність та фільтрація напруги: Імпульсний блок живлення забезпечує чітку стабілізацію вихідної напруги 5В, яка є базовою для живлення вимірювальних плат датчиків рН та TDS. Стабільна напруга є критично важливою, оскільки вона виступає як опорна (референсна) для АЦП мікроконтролера, що безпосередньо впливає на точність обчислення гідрохімічних показників.

- Стандартизований інтерфейс підключення: Використання класичного циліндричного роз'єму типу DC Jack з розмірами 5.5x2.5 мм забезпечує надійний механічний та електричний контакт, стійкий до випадкових посмикувань джерела дротів.

Таким чином, вибір мережевого адаптера живлення 5 В, 2 А із гніздом 5.5x2.5 мм повністю задовольняє енергетичні вимоги розроблюваного пристрою, забезпечує високий рівень безпеки, завадостійкості та метрологічної стабільності всієї системи моніторингу води.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7. Структурна схема

Технічним завданням даного дипломного проєкту є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу якості води в акваріумі.

Враховуючі обґрунтовані складові системи побудуємо структурну схему. Структурна схема моніторингу якості води в акваріумі представлена на рис.3.1.

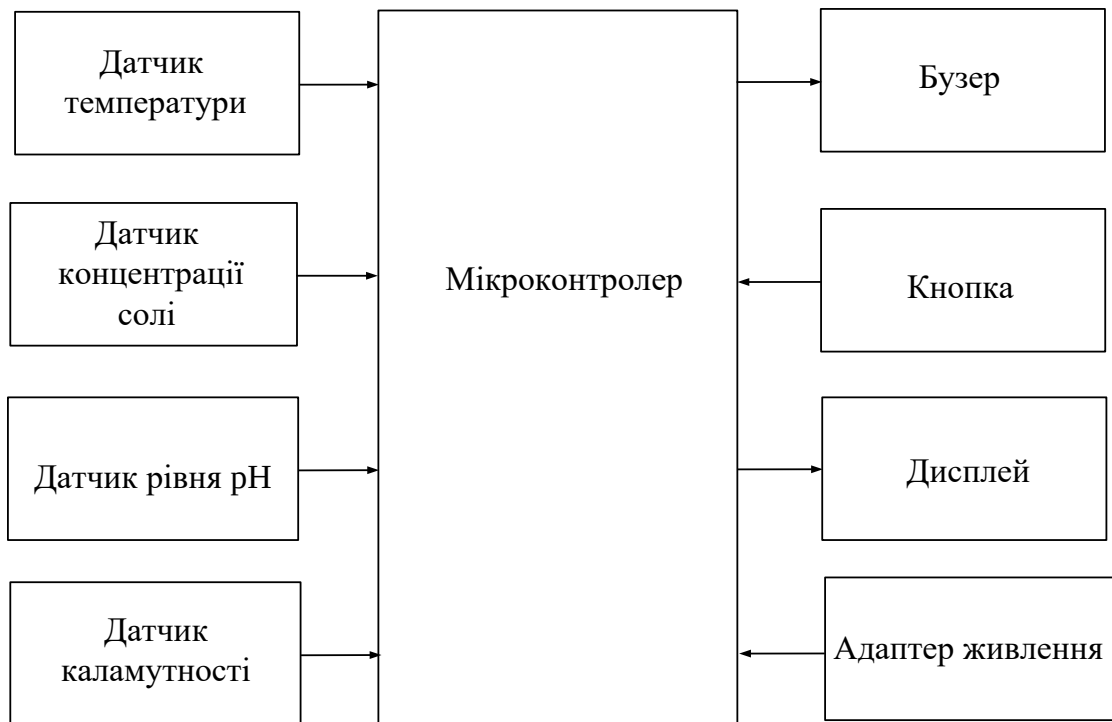


Рис.3.1. Структурна схема системи

Складові структурної схеми:

- датчик температури;
- датчик концентрації солей;
- датчик мутності;
- датчик рівня рН;
- мікроконтролер;
- кнопка;
- адаптер живлення;
- бузер;
- дисплей.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

В якості мікроконтролера застосуємо Arduino Nano. Зовнішній вигляд та розташування виводів Arduino Nano зображені на рис.4.1-4.2.

Arduino Nano є малогабаритною мікроконтролерною платформою, побудованою на базі високопродуктивного 8-бітного обчислювального кристала ATmega328P, яка спеціально спроектована для інтеграції в компактні електронні пристрої та системи автоматизації. За своїми архітектурними можливостями, обсягом пам'яті та набором периферійних інтерфейсів дана плата є повним функціональним аналогом класичного модуля Arduino Uno.

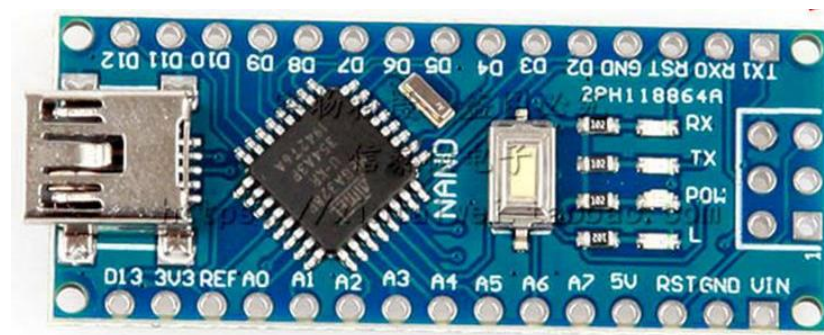


Рис.4.1. Зовнішній вигляд Arduino Nano

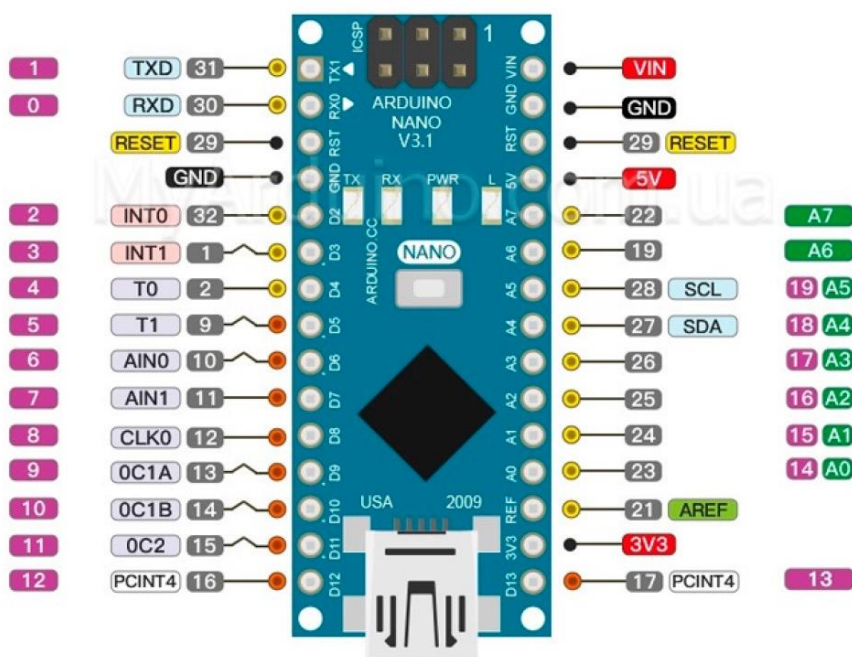


Рис.4.2. Розташування виводів Arduino Nano

Технічні характеристики Arduino Nano:

- Мікроконтролер: ATmega328P;
- Напруга живлення (V_{CC}): 5 В;
- Живлення від USB: 5 В через Mini-USB;
- Живлення через: VIN 6 –12 В;
- Цифрові входи/виходи (I/O): 14 (з них 6 — з ШІМ);
- Аналогові входи: 8;
- Максимальний струм з піну: 40 мА;
- Флеш-пам'ять: 32 КБ (з них 2 КБ зайнято завантажувачем);
- Оперативна пам'ять (SRAM): 2 КБ;
- EEPROM: 1 КБ;
- Тактова частота: 16 МГц;
- Порти зв'язку UART, SPI, I2C;
- Інтерфейс програмування: Mini-USB;
- Розміри плати: $\sim 18 \text{ мм} \times 45 \text{ мм}$;
- Вага: $\sim 7 \text{ г.}$ [4,5]

4.2. Вибір датчиків моніторингу якості води

Вимірювання температури відбувається датчиком DS18B20 (рис.4.3).

Підключення до Ардуіно нано представлено на рис.4.4.

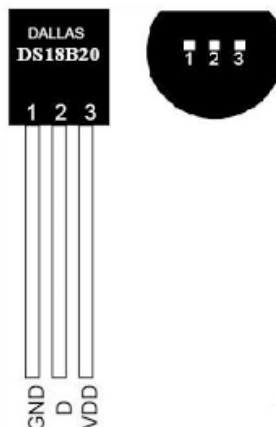


Рис.4.3. Датчик DS18B20

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		34

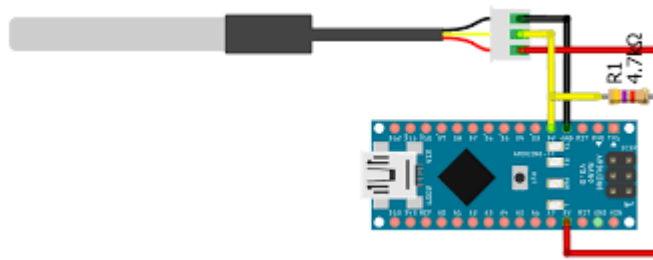


Рис.4.4. Підключення датчика DS18B20 до Arduino Nano

DS18B20 – високоточний цифровий датчик температури.

Основні характеристики DS18B20:

- Діапазон: -55.. 125 °C;
- Точність: 0.5 °C;
- Роздільна здатність: 9.. 12 біт (0.48.. 0.06 °C);
- Живлення: 3-5.5В;
- Період видачі результату: 750 мс при точності 12 біт, 94 мс при точності 9 біт;
- Інтерфейс зв'язку: 1-Wire (OneWire);
- Корпус: TO-92, SOIC-8 або герметичне виконання [6].

Для вимірювання концентрація солі TDS використовуємо датчик TDS Gravity Analog TDS Sensor (DFRobot) датчик (рис.4.5).



Рис.4.5. TDS Gravity Analog TDS Sensor

Підключення TDS Gravity Analog TDS Sensor до Arduino рис.4.6.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

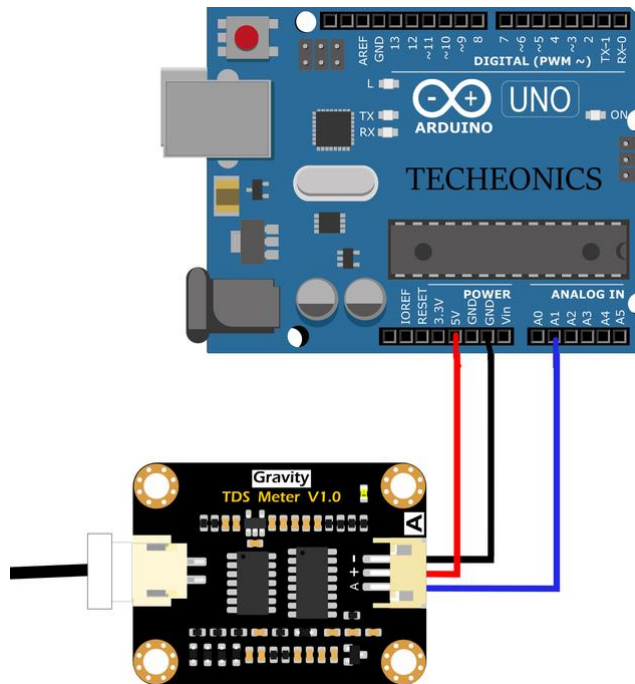


Рис.4.6. Підключення TDS Gravity Analog до Arduino

Технічні характеристики TDS Gravity Analog:

- Модель: Gravity Analog TDS Sensor;
- Вихідний сигнал: аналоговий (0–2.3 В);
- Живлення: 3.3–5 В;
- Діапазон вимірювань: 0 – 1000 ppm (типово до 500 ppm для питної води);
- Точність: $\pm 10\%$ F.S;
- Робоча температура: 5 – 40 °C;
- Сумісність: Arduino UNO, Nano, Mega
- Інтерфейс: аналоговий вихід + GND + VCC.

Датчик не реагує на солі NaCl у великих кількостях як солемір – він вимірює електропровідність, яку перераховує у ppm (TDS) [6].

Для вимірювання рівня кислотності (pH) води зазвичай використовується аналоговий pH-датчик з електродом і платою підсилення сигналу (4.7). Один із найпоширеніших варіантів – це pH Sensor Kit V1.1 або Gravity: Analog pH Sensor/Meter від DFRobot.

Цей сенсор вимірює pH (Potential of Hydrogen) – тобто концентрацію іонів водню у водному розчині. Шкала pH має значення від 0 до 14.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.7. рН-датчик

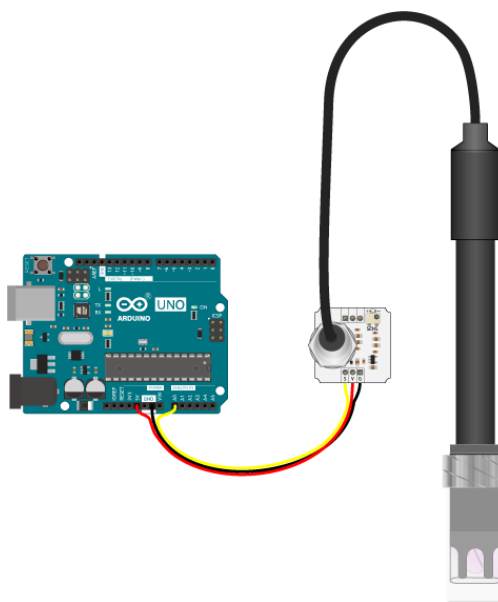


Рис.4.8. Підключення рН-датчик до Ардуіно

Технічні характеристики рН-датчик:

- Робочий діапазон рН: 0 – 14 рН;
- Точність: ± 0.1 рН (при температурі 25 °С);
- Тип виходу: Аналоговий;
- Робоча температура: 0 – 60 °С;
- Напруга живлення: 5 В (через Arduino);
- Калібрування: Ручне (потенціометр на платі);
- Вихідна напруга: $\sim 0 - 3$ В (відповідає шкалі рН 0–14);
- Сумісність: Arduino UNO, Nano, Mega;
- Довжина кабелю електрода: $\sim 50-100$ см [6].

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення прозорості застосуємо датчик каламутності SEN0189
рис.4.9.



Рис.4.9. Датчик каламутності SEN0189

Принцип дії даного оптичного датчика базується на фотометричному методі вимірювання заму́тненості рідкого середовища за допомогою інфрачервоного випромінювання, що проходить крізь контрольований об'єм води. Наявність у воді зважених мікрочастинок і твердих домішок викликає розсіювання та поглинання світлового потоку, що призводить до пропорційної зміни інтенсивності променя, який реєструється фотоприймачем. Отримані оптичні зміни трансформуються в аналоговий електричний сигнал (напругу), амплітуда якого безпосередньо корелює з рівнем оптичної щільності та концентрації зважених часток у досліджуваному водну середовищі. Технічні характеристики SEN0189:

- Діапазон вимірювання: 0 – 1000 NTU (Nephelometric Turbidity Units);
- Робоча напруга: 5 В;
- Тип виходу: Аналоговий (іноді є цифровий поріг);
- Споживаний струм: до 40 мА;
- Робоча температура: -30 °С ~ +80 °С;
- Матеріал корпусу: Пластик (водозахищений, але не повністю герметичний);
- Калібрування: Відносне (залежить від умов і рідини);
- Довжина кабелю близько 1 м [6].

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Вибір дисплея

Для відображення показів застосуємо дисплей LCD1602 I2C рис.4.10. Символьний дисплей LCD1602 I2C для відображення інформації в текстовому вигляді. Знакосинтезуючий екран 16×2 відображає 2 рядки по 16 символів білим текстом на блакитному підсвічуванні.



Рис.4.10. Дисплей LCD1602 I2C

Електроживлення матриці й модуля підсвічування реалізується від джерела напруги 5 В. Водночас сигнальні лінії інтерфейсу I2C (SDA та SCL) є універсальними й стабільно функціонують у логічних діапазонах 3,3–5 В, що забезпечує повну апаратну сумісність пристрою з мікроконтролерами, які мають як 5-вольтну, так і 3,3-вольтну периферію.

Схема підключення дисплея по інтерфейсу I2C до мікроконтролера виглядає так:

- GND – земля;
- VCC – живлення 5 В;
- SDA – підключається до відповідного піну SDA мікроконтролера;
- SCL – підключається до піну SCL мікроконтролера.

Підключення дисплею по I2C до Ардуіно Уно представлений на рис.4.11.

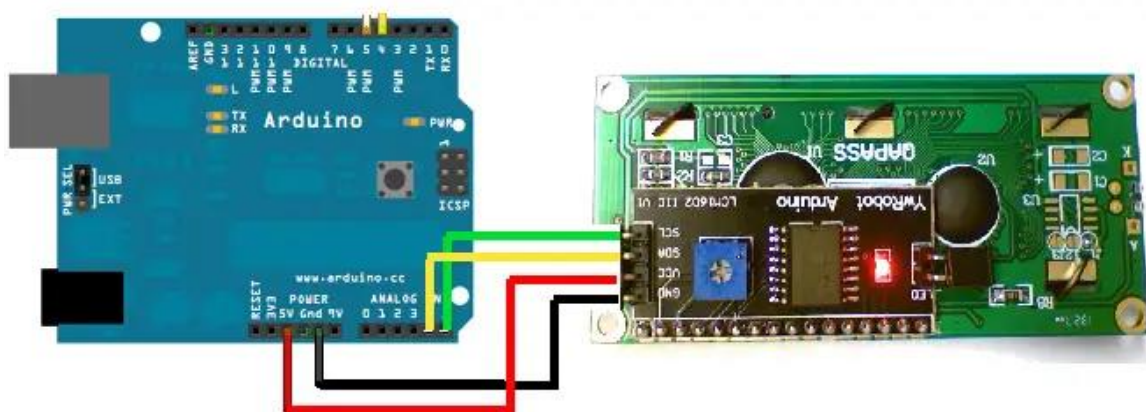


Рис.4.11. Підключення дисплею по I2C до Arduino Uno

Технічні характеристики дисплей LCD1602 I2C:

- Символьний дисплей LCD1602 I²C (Синє підсвічування);
- Контролер: HD44780;
- Матриця: рідкокристалічна LCD;
- Підсвічування: світлодіодне LED;
- Індикація: 2 рядки по 16 символів;
- Колір символів: білий;
- Колір підсвічування: синій;
- Напруга живлення: 5 В;
- Напруга логічних рівнів: 3,3-5 В;
- Апаратний інтерфейс: 4 контакти PLS;
- Програмний інтерфейс: I2C;
- Діапазон I²C-адрес: 0x27 або 0x3F;
- Розміри: 80×36 мм [7].

4.4.Вибір звукового оповіщення

В якості звукового оповіщення застосуємо модуль с динаміком КУ-006 рис.4.12.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.12. Модуль с динаміком KY-006

Модуль динаміка KY-006 – це компактний, доступний та простий у використанні пристрій для відтворення звукових сигналів за допомогою мікроконтролера. Він складається з динаміка та обмежувального резистора, який контролює струм, що проходить через динамік.

Принцип дії модуля простий: при подачі електричного сигналу на динамік створюються звукові коливання. Частота звуку визначається частотою сигналу, а його гучність – рівнем напруги.

Для підключення KY-006 до мікроконтролера використовується цифровий вихід. Один провід модуля під'єднується до цифрового піну, інший – до GND (землі).

Схема підключення модуль KY-006 до мікропроцесора представлена на рис.4.13.

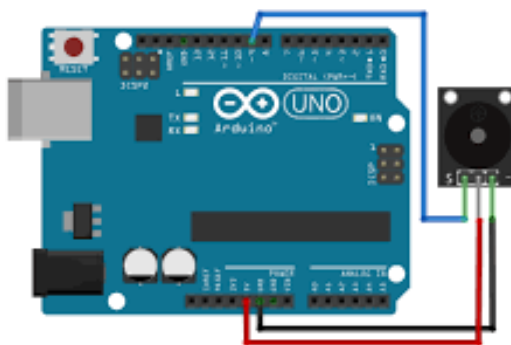


Рис.4.13. Схема підключення модуль KY-006 до Arduino Uno

Живлення 3.3 - 5В. Три виводи: живлення (NC), земля та сигнал. Розміри плати 16 x 19 x 10 мм.[8]

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4.5. Вибір кнопки

Для вмикання та вимикання роботи системи використовуємо PBS-110 1A,250V OFF-(ON) червону кнопку без фіксації рис.4.14.



Рис. 4.14. Кнопка PBS-110

Технічні характеристики PBS-110:

- Робоча напруга: 5–12 В (підходить для Arduino);
- Струм: до 2–5 А (із запасом для живлення);
- Монтаж: панельний або друкована плата;
- Тип: кнопка з фіксацією (при натисканні залишається в положенні ВКЛ/ВИКЛ);
- Кількість контактів: 2 або 3 (залежно від типу);
- Розміри: компактні (підходить для корпусу пристрою) .[9].

4.6. Вибір блока живлення

В якості живлення пропонується адаптер живлення на 5 В 2 А (рис. 4.15).

Мережевий блок живлення 5В 2А з роз'ємом 5.5-2.5 мм – це пристрій, призначений для подачі стабільної напруги 5 вольт та струму 2 ампера зі стандартним роз'ємом 5.5-2.5 мм.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4.15.Зовнішній вигляд адаптера живлення

Технічні характеристики адаптера живлення:

- Вихідна потужність: 10;
- Вихідна напруга (output): 5В;
- Колір: Чорний;
- Призначення: Універсальне;
- Номінальна сила струму: 2 А;
- Вид: Зарядний пристрій;
- Потужність: 10.0;
- Напруга живлення: 220 В [10].

4.7. Побудова принципово-електричної схеми

На основі обраних вище складових елементів побудуємо принципово-електричну схему рис.4.16.

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1– датчик температури DS18B20;
- DD2– Arduino Nano;
- DD3– датчик каламутності SEN0189;
- DD4– датчик рівня рН;

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

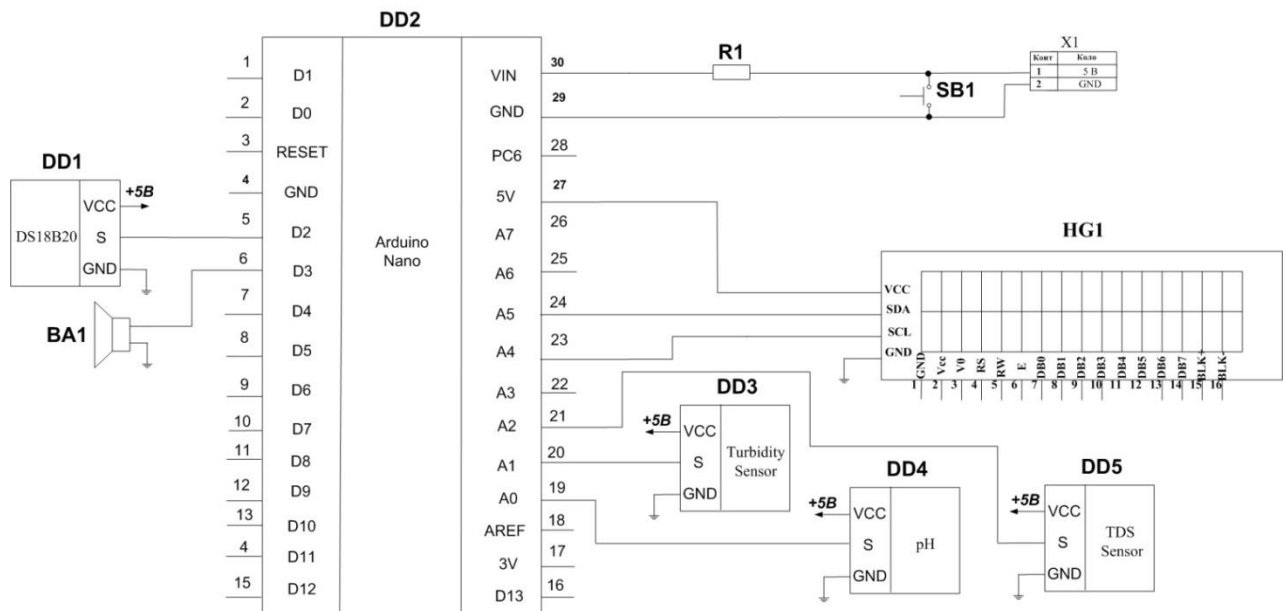


Рис. 4.16. Принципова схема пристрою

- DD5—датчик концентрації солі TDS;
- SB1 –кнопка PBS-110;
- BA1 – динамік модуль KY-006;
- HG1 – дисплей LCD 1602 I2C;
- R1 – 10 Ом;
- X1 – роз’єм для акумулятора.

Повний перелік елементів представлений в Додатку Б.

4.8. Розрахунок похибок визначення температури

Похибка вимірювання є ключовим показником якості функціонування розроблюваної комп’ютеризованої системи. Вона визначає відхилення отриманого результату від істинного або еталонного значення контрольованого параметра якості води. За способом вираження похибки поділяють на абсолютні (виражені в одиницях вимірюваної величини) та відносні (у відсотках).

Для оцінки метрологічних характеристик вимірювальних каналів розроблюваного пристрою проведено серію з 10 повторних вимірювань температури водного середовища за допомогою цифрового первинного

перетворювача DS18B20. Експеримент виконувався в реальних умовах функціонування акваріума

Було отримано таку вибірку температури тіла людини:

$T_v = (24.2; 24.3; 24.1; 24.2; 24.4; 24.3; 24.5; 24.3; 24.2; 24.4)$.

Знаходимо середнє значення вибірки:

Знаходимо середнє арифметичне і середньоквадратичне значення

1) середнє арифметичне T_v за (4.1):

$$T_v = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_{vi} \cong 24,3 \quad (4.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔT_{vi} та ΔT_{vi}^2 (4.2):

$$\Delta T_v = |\overline{T_v} - T_{vi}| \text{ та } \Delta T_{vi}^2 = (\overline{T_v} - T_{vi})^2, \quad (4.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень записуємо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1

№ з. п.	T_v , грам	ΔT_v , грам	ΔT_v^2 грам ²
1	24,2	-0,1	0,01
2	24,3	0,0	0,00
3	24,1	-0,2	0,04
4	24,2	-0,1	0,01
5	24,4	0,1	0,01
6	24,3	0,0	0,00
7	24,5	0,2	0,04
8	24,3	0,0	0,00
9	24,2	-0,1	0,01
10	24,4	0,1	0,01
Середнє	24,3	0,076 (сер. абс.)	Сума = 0,14

3. Розраховуємо випадкову похибку вимірювання за (4.5). За даними таблиці 4.1 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчою ймовірністю 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.6) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\overline{T_v} - T_{vi})^2} \approx 0,039 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					МММТ 480.015.015 - ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Та знаходимо випадкову похибку:

$$\Delta_B T_v = 2,26 * 0,030 = 0,088 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Похибку приладу за (4.7)

$$\Delta_{\text{пр}} T_v = \frac{1}{300} t_p k_{T_v \text{ гр}} \quad 4.7$$

5. Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $T_v \text{ гр} = 43$ а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} T_v = \frac{1}{300} * 2,0 * 43 * 1 \approx 0,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6. похибку заокруглення за (4.8):

$$\Delta T_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.8)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,5. Отже:

$$\Delta T_{v3} = 0,95 * \frac{0,5}{2} \approx 0,24 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

6. загальна абсолютна похибка (6.9):

$$\Delta T_v = \sqrt{(\Delta_B T)^2 + (\Delta_{\text{пр}} T)^2 + (\Delta_3 T)^2} = \sqrt{0,0088^2 + 0,29^2 + 0,24^2} \approx \quad (4.9) \\ \approx 0,224 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

7. Відносну похибку за формулою:

$$\delta L = \frac{\Delta T}{T} \times 100\% = \frac{0,224}{24,3} \times 100\% \approx 0,92\%$$

Отже, отримаємо абсолютну похибку вимірювання $0,22^{\circ}\text{C}$, відносну похибку вимірювання відсотках 1%.

					МММТ 480.015.015 - ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

На основі розробленої структурної схеми пристрою було спроектовано алгоритм роботи головного модуля керування, графічне представлення якого наведено на рис. 5.1.

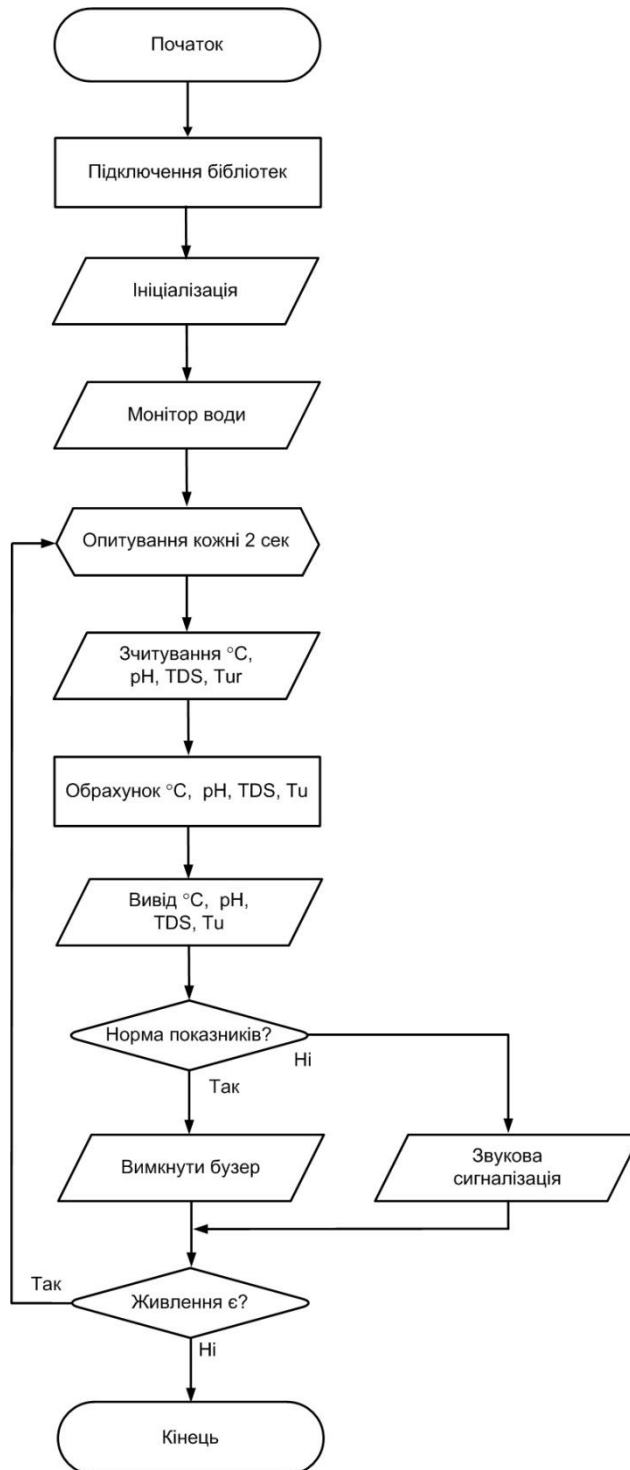


Рис. 5.1. Алгоритм роботи програми

Функціонування вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера ATmega328P реалізовано за лінійно-циклічною структурою і складається з таких послідовних етапів:

1. Блок «Початок»: Ініціює запуск логіки керування при подачі номінальної напруги живлення 5 В на апаратні компоненти системи за допомогою мережевого адаптера.

2. Блок «Підключення бібліотек»: На етапі компіляції інтегрує в програмний код спеціалізовані програмні бібліотеки, необхідні для підтримки протоколу One-Wire (для термодатчика DS18B20), обробки аналогових сигналів та організації обміну даними з дисплеєм по шині I2C.

3. Блок «Ініціалізація»: Конфігурує режими роботи цифрових та аналогових портів вводу-виводу мікроконтролера Arduino Nano. Виконується первинне налаштування символьного індикатора LCD 1602, встановлення початкових значень глобальних змінних, констант та меж спрацьовування сигналізації.

4. Блок «Монітор води»: Забезпечує одноразове виведення стартового інформаційного повідомлення (вітання) «Монітор води» на екран для візуального підтвердження успішного проходження апаратного тесту системи.

5. Блок «Опитування кожні 2 сек»: Організовує часовий інтервал основного циклу програми за допомогою системного таймера. Періодичність опитування у 2 секунди є оптимальною з огляду на теплову та хімічну інерційність водного середовища акваріума, що дозволяє уникнути надлишкового навантаження на обчислювальне ядро.

6. Блок «Зчитування °C, pH, TDS, Tur»: Виконує пряме безпосереднє зняття даних з первинних перетворювачів. Програма здійснює запит цифрового коду температури від датчика DS18B20, а також послідовно опитує канали інтегрованого АЦП для отримання рівнів напруги з виходів pH-електрода, кондуктометричного TDS-сенсора та оптичного датчика каламутності SEN0189.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Блок «Обрахунок °C, pH, TDS, Tu»: Реалізує математичну обробку «сирих» лічених даних. На цьому етапі виконується фільтрація шумів, масштабування аналогових величин та перерахунок напруги у фізичні одиниці вимірювання за відповідними метрологічними калібрувальними рівняннями (градуси Цельсія, водневий показник pH, міліграми на літр ppm та одиниці каламутності NTU).

8. Блок «Вивід °C, pH, TDS, Tu»: Формує структуру відображення метрологічної інформації та передає її по шині I2C на дисплей LCD 1602. Дані розподіляються на два інформаційні рядки для забезпечення максимальної читабельності.

9. Умовний блок «Норма показників?»: Виконує програмне порівняння поточних обчислених значень із константами безпечного діапазону життєдіяльності акваріумного середовища. Допустимими критеріями визначено:

- температура води: 22-28°C;
- активна кислотність: 6.5-7.5 pH;
- загальна мінералізація: 150-500 ppm;
- рівень замулення: прозора вода (до 100 умовних одиниць NTU).

10. Блоки дій «Вимкнути буюер» / «Звукова сигналізація»: Якщо всі фізико-хімічні параметри перебувають у межах норми (гілка «Так»), програма подає логічний нуль на сигнальний порт модуля КУ-006, вимикаючи звук. У разі виходу хоча б одного параметра за межі допуску (гілка «Ні»), активується підпрограма генерації переривчастих імпульсів звукової сигналізації для привернення уваги користувача.

11. Умовний блок «Живлення є?»: Перевіряє апаратний стан системи. У разі наявності стабільної напруги живлення (гілка «Так») алгоритм повертається до початку основного циклу для наступного кроку моніторингу. При примусовому вимкненні пристрою або знеструмленні (гілка «Ні») робота завершується переходом до блока «Кінець».

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Розробка програми

Для реалізації алгоритму керування мікропроцесорним модулем у даному проєкті застосовано спеціалізоване високорівневе середовище розробки Arduino IDE. Програмування здійснюється мовою Wiring (на базі C/C++), яка оптимізована для ефективної взаємодії з апаратними ресурсами 8-бітних мікроконтролерів архітектури AVR, зокрема з обчислювальним кристалом ATmega328P платформи Arduino Nano.

Вибір даного інструментарію дозволяє мінімізувати час розробки завдяки абстрагуванню від низькорівневих регістрових процесів та наявності великої кількості відлагоджених модульних бібліотек. Повний текст керуючої програми з детальними покроковими коментарями наведено у Додатку Б, а нижче представлено та описано ключові лістинги коду, що відображають базову логіку функціонування системи моніторингу якості води.

1. Імпорт програмних бібліотек та оголошення констант. Для забезпечення коректного обміну даними по шині I2C з пристроєм відображення та опитування цифрового термодатчика по однопровідній шині у препроцесорній частині коду виконується підключення відповідних заголовних файлів:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

2. Ініціалізація апаратних об'єктів та інтерфейсів. На основі підключених бібліотек створюються програмні об'єкти для символьного дисплея та термометра. Для рідкокристалічного індикатора вказується базова шістнадцяткова адреса драйвера (0x27) та геометричні параметри матриці (16 знаків на 2 рядки). Обмін даними з датчиком DS18B20 конфігурується через створення екземпляра шини OneWire:

```
// Конфігурація дисплея: адреса 0x27, 16 символів, 2 рядки
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Налаштування шини даних OneWire для температурного каналу
OneWire oneWire(TEMP_PIN);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Початкова конфігурація системи (функція `setup`). Цей блок виконується одноразово при подачі напруги живлення. Він забезпечує запуск інтерфейсів периферійних пристроїв, активацію підсвічування екрана, визначення напрямку роботи цифрового порту для модуля звукової сигналізації КУ-006 та встановлення на ньому початкового безпечного рівня логічного нуля:

```
void setup() {
    lcd.init(); // Ініціалізація РК-матриці
    lcd.backlight(); // Активація світлодіодного
    підсвічування
    sensors.begin(); // Запуск температурного сенсора

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT); // Конфігурація порту бузера як виходу
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW); // Початкове блокування звукового
    сигналу
}
```

4. Виконання основного робочого циклу (функція `loop`). Програма безперервно у циклічному режимі здійснює запит та зчитування фізико-хімічних параметрів. Дані про температуру надходять у цифровому вигляді, тоді як сигнали з аналітичних каналів рН, мінералізації (TDS) та оптичного модуля каламутності (SEN0189) знімаються через вбудований аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера з подальшим масштабуванням значень:

```
void loop() {
    // Опитування цифрового датчика температури
    sensors.requestTemperatures();
    float temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

    // Зчитування та лінеаризація показників водневого показника рН
    int phValue = analogRead(PH_PIN);
    float ph = map(phValue, 0, 1023, 0, 14);

    // Отримання даних з каналів загальної мінералізації та каламутності
    int tdsValue = analogRead(TDS_PIN);
    int turbidityValue = analogRead(TURBIDITY_PIN);
}
```

5. Візуалізація вимірювальних даних. Отримані та перераховані значення метрологічних параметрів формуються і передаються на символьний дисплей для оперативного візуального контролю користувачем:

```
// Виведення інформаційного пакета на LCD 1602
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T:");
lcd.print(temperature, 1);
lcd.print("C рН:");
lcd.print(ph, 1);
```

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Логіка аварійного моніторингу та захисту. Програмний алгоритм порівнює поточні виміряні величини із встановленими константами безпечного технологічного діапазону. У разі детектування виходу хоча б одного параметра за критичні межі, мікроконтролер переводить порт керування модулем KY-006 у стан логічної одиниці, активуючи звукове сповіщення користувача:

```
// Перевірка відповідності поточних значень встановленим критеріям
норми
if (ph < PH_MIN || ph > PH_MAX ||
    temperature < TEMP_MIN || temperature > TEMP_MAX ||
    tdsValue > TDS_MAX || turbidityValue > TURBIDITY_MAX) {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH); // Активація аварійної сигналізації
} else {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW); // Деактивація звукового сигналу
}

delay(2000); // Системна затримка циклу опитування датчиків
}
```

Розроблена структура програмного коду забезпечує стабільне опитування чутливих елементів, виключає зависання обчислювального ядра та гарантує високу метрологічну надійність під час довготривалого безперервного моніторингу параметрів якості водного середовища.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Друкована плата (ДП) – це основа для монтажу електронних компонентів, яка забезпечує їхнє механічне кріплення та електричне з'єднання за допомогою провідних доріжок на ізоляційному матеріалі (найчастіше склотекстоліті FR-4). Використання ДП дозволяє зробити пристрій компактним, надійним та завадостійким [11].

Для проектування топології плати було обрано сучасне середовище EasyEDA [12]. Ця онлайн-платформа є однією з найзручніших для розробки схем і друкованих плат завдяки наявності великої бази готових посадкових місць для компонентів Arduino, що суттєво спрощує та прискорює процес проектування.

Топологія розробленої друкованої плати представлена на рисунках 6.1–6.2.

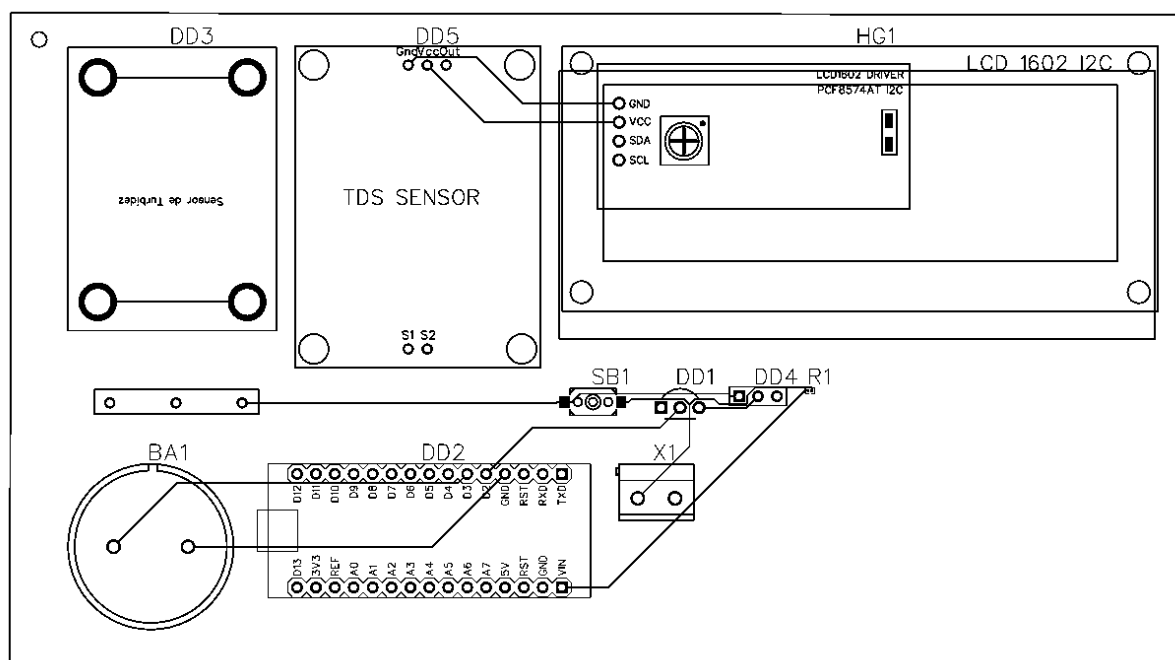


Рис. 6.1. Перший шар плати в програмі

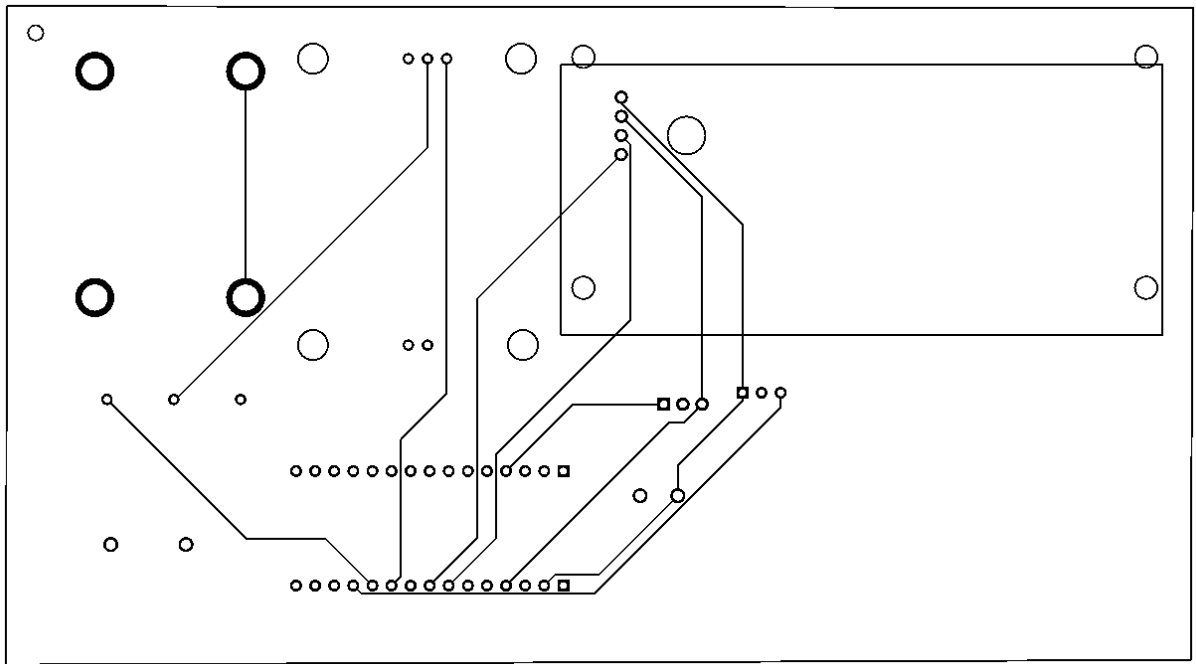


Рис. 6.2. Другий шар плати в програмі

При проектуванні друкованої плати було реалізовано раціональне просторове компонування елементної бази з урахуванням габаритних розмірів усіх компонентів системи: мікроконтролера Arduino Nano, символьного дисплея LCD 1602 з I2C-адаптером, датчиків рН, каламутності, TDS, температури й вологості DHT11, звукового модуля KY-006, кнопки живлення PBS-110, а також дискретних пасивних елементів (резисторів, конденсаторів та роз'єму живлення DC Jack).

На топологічному шарі передбачено технологічні зони для нанесення маркування полярності та буквено-цифрових позначень елементів методом шовкографії. Роботи з компонування та трасування провідників виконано в САПР EasyEDA. Геометричні розміри розробленого модуля становлять 157×87 мм (рис. 2.16). Плата реалізована у двошаровому варіанті (Top/Bottom layers), що гарантує високу щільність монтажу та завадостійкість сигнальних ліній.

Конструктивно-технологічні параметри ДП відповідають таким проектним нормам:

- Ширина сигнальних провідників – 0,25 мм;

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- Зовнішній діаметр контактних майданчиків – 0,6 мм;
- Внутрішній діаметр металізованих монтажних отворів — 0,3 мм;
- Матеріал підкладки – фольгований склотекстоліт марки FR-4 (товщина 1,6 мм).

Для надійного захисту від зовнішніх чинників та зручності експлуатації вимірювальний модуль інтегрується в герметичний універсальний пластиковий корпус Gainta G738 (матеріал — ударостійкий ABS-пластик), внутрішній об'єм якого забезпечує оптимальне розміщення плати, сполучних шлейфів та елементів кріплення.

Характеристики:

- Зовнішні розміри: приблизно 165 × 95 × 55 мм;
- Матеріал: ABS-пластик (ударостійкий, не токсичний, легко обробляється);
- Кріплення: гвинтове закриття + направляючі/фіксатори для плати всередині
- Колір: чорний або світло-сірий (на вибір);
- Отвори: немає заводських отворів — можна просвердлити індивідуально під дисплей, датчики, кнопку, живлення тощо;
- Вентиляція: за потреби можна зробити отвори для вентиляції, якщо в корпусі не передбачені.

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність являє собою властивість електронних та механічних систем підтримувати свою функціональність без порушень протягом визначеного часового інтервалу за конкретних експлуатаційних параметрів. Даний показник відіграє вирішальну роль у забезпеченні продуктивної роботи, безпечної експлуатації та тривалого терміну служби технічних засобів.

Під час аналізу надійності технологічних систем або окремих елементів застосовуються такі основні числові індикатори надійності:

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ймовірність безвідмовної роботи ($P(t)$) – імовірність того, що об'єкт працюватиме безвідмовно протягом часу:

$$P(t)=e^{-\lambda t} \quad (6.1)$$

де λ – інтенсивність відмов,

t – час роботи.

Середній час безвідмовної роботи (T):

$$T = \int_0^{\infty} P(t)dt = \frac{1}{\lambda} \quad (6.2)$$

Інтенсивність відмов (λ) — кількість відмов у розрахунку на одиницю часу:

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (6.3)$$

Виріб призначений для роботи в опалюваному приміщенні з контрольованими умовами мікроклімату:

- робочий діапазон температури від +17 до +23 °С, відносна вологість повітря — до 60% при температурі +21 °С;
- конструктивно пристрій призначено для використання всередині приміщень з штучно регульованими кліматичними умовами, вібростійкий,
- не піддається дії хімічно активних речовин.

Склад виробу – комп'ютеризована системи моніто-рингу якості води в акваріумі, призначена для контролю основних параметрів водного середовища в умовах навчальних кабінетів, лабораторій або домашніх акваріумів.

Критерієм відмови виробу вважається вихід з ладу будь-якої його складової (вузла), що спричиняє втрату працездатності виробу та унеможлиблює його експлуатацію за призначенням.

Розрахунок надійності спроектованого виробу здійснюється на основі його електричної принципової схеми з урахуванням заданої кліматичної категорії та конструктивного виконання.

Розрахунок параметра потоку відмов проводиться за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.4)$$

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу 57-го проєктованого виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.5)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження критичних вузлів, температура навколишнього середовища, рівень інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення між різними типами відмов.

Формули, за якими визначалась інтенсивність відмов для кожної групи компонентів виробу, наведено в таблиці 6.1. Числові значення були отримані на основі довідкових даних, вказаних у [13], з урахуванням вихідних параметрів проєктованого виробу.

По формулі (6.4) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 11 таблиці 6.1):

$$\lambda = 76,12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.6)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [18].

Таблиця 6.1. Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	4	6				7
1	DS18B20 – датчик температури	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Arduino Nano (Atmega328)	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
3	SEN0189 – датчик каламутності	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коеф іцієн ти	$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹	Поз.	Найм енува ння	Кіл.
1	2	3	4	4	6	7	1	2	3
4	Датчик рівня рН (аналоговий модуль)	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
5	Датчик TDS (концентрація солі)	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
6	PBS-110 – кнопка тактова	1	0,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1				0,21
7	KY-006 – динамік	1	3,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1				7,98
8	LCD 1602 I2C дисплей	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
9	Резистор 10 Ом	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8			0,0134
10	Адаптер живлення 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1				63,0
11	Разом:								76,12

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

t , год	250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
$P(t)$	0,98115	0,96265	0,94451	0,92671	0,85879	0,68346	0,543928	0,46712

На графіку,веденому на рис 6.3 приведена залежність надійності $P(t)$.

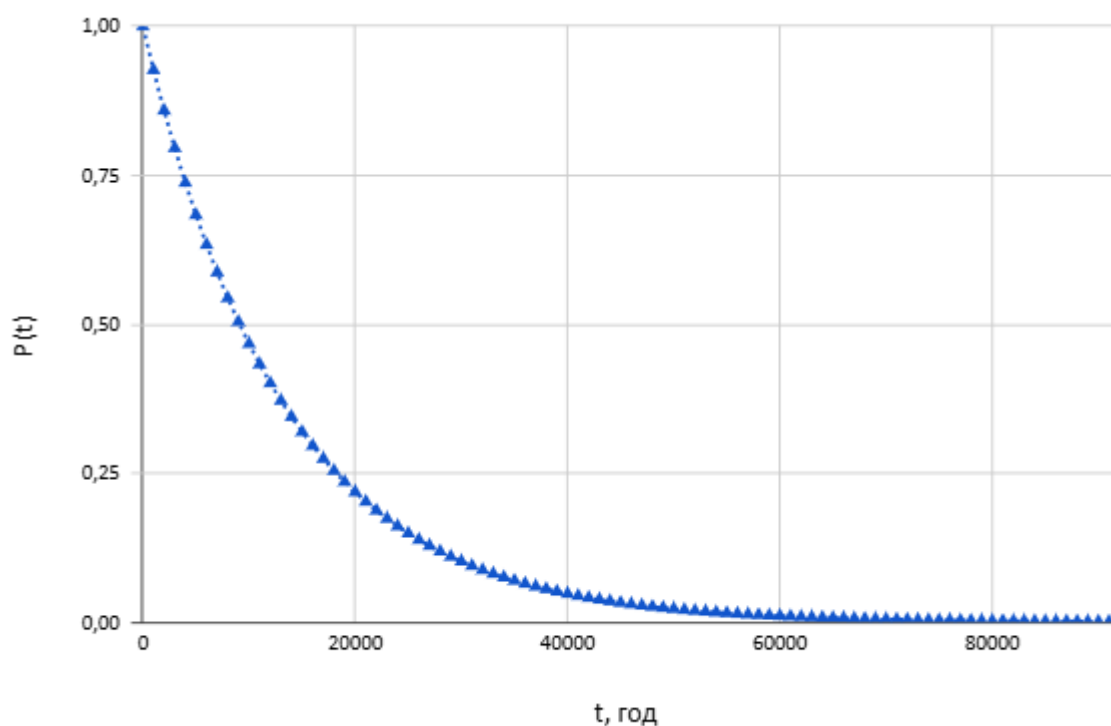


Рис.6.3. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (2.4)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (76,12 \cdot 10^{-6})^{-1} = 13137,60 \text{ годин.}$$

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.Охорона праці

Охорона праці – це комплексна система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які спрямовані на збереження життя, здоров'я і всебічної працездатності людини у процесі її безпосередньої трудової діяльності.

Правове забезпечення охорони праці в Україні базується на розгалуженій системі законодавчих та підзаконних нормативно-правових актів:

1. Закон України «Про охорону праці»: Посідає центральне місце у правовій системі цієї галузі. Цей базовий документ визначає фундаментальні принципи державної політики у сфері безпеки праці, чітко регламентує права, обов'язки та рівень відповідальності роботодавців і працівників, а також встановлює єдиний порядок організації системи управління охороною праці (СУОП) на підприємствах та в установах.

2. Кодекс законів про працю (КЗпП) України: Містить засадничі правові норми щодо гарантування безпечних і здорових умов праці. Він детально регулює тривалість робочого часу, режими відпочинку, порядок надання відпусток та особливості праці жінок і молоді з урахуванням суворих вимог безпеки життєдіяльності.

3. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»: Регулює фінансово-правові аспекти захисту інтересів працюючих. Документ визначає механізми страхування працівників від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, а також гарантує виплату відповідних матеріальних компенсацій у разі тимчасової або повної втрати працездатності.

4. Кодекс цивільного захисту України (включаючи вимоги пожежної безпеки): Виступає невід'ємною складовою загальної системи безпеки. Він встановлює обов'язкові для виконання інженерно-технічні та організаційні

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки на робочих місцях, об'єктах господарювання та в науково-дослідних лабораторіях.

Подальша деталізація та практична реалізація законодавчих норм здійснюється через систему підзаконних актів. До них належать профільні постанови Кабінету Міністрів України, а також накази та розпорядження центральних органів виконавчої влади (зокрема, Міністерства економіки України).

Технічні, санітарні та організаційні аспекти безпеки безпосередньо регламентуються Державними санітарними правилами і нормами (ДСанПіН), Державними будівельними нормами (ДБН), а також галузевими нормативними актами з охорони праці (НПАОП), які враховують специфіку конкретних видів діяльності.

В рамках процесів європейської інтеграції Україна здійснює системну імплементацію міжнародних стандартів, адаптуючи національне законодавство до директив Європейського Союзу та впроваджуючи конвенції і рекомендації Міжнародної організації праці (МОП). На рівні конкретного суб'єкта господарювання ці загальні вимоги деталізуються у внутрішніх технічних регламентах, стандартах підприємства та інструкціях з охорони праці для окремих професій і специфічних видів робіт [19].

7.2. Охорона праці при моніторингу якості води

Специфіка розробки та подальшого функціонування комп'ютеризованої системи моніторингу якості води в акваріумі полягає в одночасному поєднанні кількох факторів: робота з ПЕОМ (персональним комп'ютером), монтаж та налагодження низьковольтних електронних схем, а також безпосередній контакт вимірювальних пристроїв із рідким водним середовищем.

З огляду на це, організація робочого процесу та обслуговування системи вимагає дотримання комплексу технічних і санітарно-гігієнічних заходів.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Безпека при роботі з електронними компонентами та паяльним обладнанням

На етапі складання макетної та друкованої плати пристрою (монтаж мікроконтролера Arduino Nano, дисплея LCD 1602 та допоміжних елементів) основними небезпечними факторами є ризик термічних опіків від паяльника та дія шкідливих хімічних аерозолів (парів каніфолі та припою).

– Паяльні роботи повинні проводитися у приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією або місцевими витяжними відсмоктувачами.

– Інструмент повинен мати надійну термоізоляцію руків'я, а його підключення до мережі 220 В має здійснюватися через справні штепсельні розетки із заземлювальним контактом.

2. Електробезпека під час взаємодії вимірювальних каналів із водою

– Оскільки датчики (температури DS18B20, pH, каламутності та TDS) занурюються безпосередньо у воду акваріума, критично важливо унеможливити потрапляння небезпечної напруги у вимірювальне середовище.

– Проектований пристрій працює від безпечної постійної напруги 5 В, що надходить від мікроконтролера.

– Проте первинний імпульсний блок живлення підключений до промислової мережі змінного струму 220 В. Для захисту користувача та біосистеми акваріума блок живлення повинен мати високий клас гальванічної розв'язки (подвійну ізоляцію корпусу) та захист від короткого замикання.

– Усі з'єднувальні дроти, які йдуть до занурювальних датчиків, повинні мати абсолютну гідроізоляцію та герметичність у місцях спаювання.

3. Санітарно-гігієнічні вимоги при роботі з хімічними сенсорами та водою

Процес експлуатації вимірювального комплексу передбачає періодичне обслуговування, очищення та калібрування аналітичних датчиків (зокрема, електрода pH у буферних розчинах та TDS-сенсора).

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Обслуговуючий персонал повинен дотримуватися правил особистої гігієни, уникати потрапляння калібрувальних хімічних розчинів на відкриті ділянки шкіри та слизові оболонки.

– Заміна або очищення датчиків у водному резервуарі мають виконуватися виключно при знеструмленому вимірювальному блоці для запобігання випадковому пошкодженню електронних кіл системи.

4. Ергономіка робочого місця оператора моніторингу

При тривалому зніманні показників, аналізі даних у середовищі розробки або моніторингу параметрів через екран ПК виникає зорове та нервово-психічне напруження.

– Рівень освітленості робочої зони з дисплеєм має бути рівномірним і становити не менше 300–500 лк.

– Екран монітора комп'ютера встановлюється на відстані 60–70 см від очей користувача нижче його рівня зору на 10–20°.

– Для запобігання перевтомі та гіподинамії впроваджується регламентований режим праці з обов'язковими 10-хвилинними перервами через кожну годину безперервної роботи.[19]

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті було розроблено комп'ютеризовану систему безперервного моніторингу параметрів якості води в акваріумі на базі мікроконтролера. Система призначена для автоматичного контролю ключових фізико-хімічних параметрів водного середовища в режимі реального часу. На відміну від існуючих комерційних аналогів, розроблений пристрій є гнучким, адаптованим під конкретні вимоги та суттєво доступнішим у реалізації.

Під час виконання дипломного проєкту було успішно вирішено такі завдання:

1. Аналіз існуючих засобів контролю: Проведено порівняльний аналіз сучасних пристроїв контролю якості води (QNCIGER Water Quality Tester, Milwaukee MW102, Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester). Встановлено, що більшість із них потребують періодичного ручного підключення для проведення замірів, тоді як запропоноване рішення реалізує стаціонарний цілодобовий моніторинг із миттєвим апаратним сповіщенням про вихід параметрів за межі норми.

2. Схемотехнічне та конструкторське проектування: Розроблено структурну, принципову електричну схему та двошарову друковану плату системи на базі фольгованого склотекстоліту FR-4 розміром 157×87 мм у середовищі EasyEDA. Апаратна архітектура об'єднує мікроконтролер Arduino Nano (ATmega328P), цифровий датчик температури DS18B20, оптичний сенсор каламутності SEN0189, аналітичні модулі вимірювання pH та концентрації солей (TDS), символічний дисплей LCD 1602 I2C, кнопку керування PBS-110 та активний звуковий сповіщувач KY-006. Комплекс інтегровано в універсальний захисний корпус Gainta G738.

3. Розробка програмного забезпечення: Спроектовано лінійно-циклічний алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення з періодом опитування датчиків 2 секунди.

4. Метрологічний аналіз та оцінка точності: Проведено повний метрологічний розрахунок похибок вимірювальних каналів системи. За

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результатами статистичної обробки експериментальної вибірки для каналу термометрії встановлено, що сумарна абсолютна похибка вимірювання температури становить $0,22^{\circ}\text{C}$, а загальна відносна похибка не перевищує 1%. Отримані показники точності повністю задовольняють жорстким вимогам біологічної безпеки та підтверджують високу надійність вимірювального тракту.

5. Охорона праці та пожежна безпека: Проведено детальний аналіз нормативно-правового регулювання охорони праці на базі законодавства України. Розроблено комплекс організаційно-технічних заходів безпеки під час проектування, монтажу та експлуатації системи, що включає вимоги до електробезпеки низьковольтних ланцюгів, пожежної профілактики та ергономіки робочого місця оператора.

В цілому, розроблена комп'ютеризована система моніторингу повністю відповідає вимогам виданого технічного завдання, демонструє необхідну інженерну точність і може бути ефективно впроваджена для автоматизації контролю акваріумних та штучних гідробіологічних комплексів різного об'єму.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Детекторк якості води Online APP Monitoring WiFi Water Quality Tester. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.co.uk/Monitoring-Temperature-Hydroponics-Aquaculture-Calibration/dp/B0CZKP7ZSS>.
2. Детекторк якості води Milwaukee MW102. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.co.uk/Milwaukee-MW102-PH-Temperature-Meter/dp/B001DTNDME>.
3. Цифровий тестер QNCIGER Water Quality Tester 3 in 1.[Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.co.uk/QNCIGER-Temperature-Aquariums-Drinking-Hydroponics/dp/B0DL4QBJXQ>.
4. Електроніка і мікросхемотехніка / Войцицький А.П, Войцицький М. А. Одеса: Гельветика, 2018. – 300 с.
5. DataSheet Arduino Nano. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino kit.com.ua/ua/p1113760972-arduino-nano-mikrokontroller.html>.
6. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2018. - 311 с.
7. Дисплей LCD 1602 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/1602-simvolniy-displey-zeleniy>.
8. Модуль KY-006 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod1153-modyl-s-dinamikom-ky-006-passivnii>.
9. Кнопка PBS-110. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://radio-magazin.com.ua/ru/pbs-110-1a250v-off-on-krasnaya-knopka-bez-fiksatsii_1.
10. Адаптер живлення на 5 В 2 А.[Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiostore.com.ua/ua/p616938173-blok-pitaniya-shteker.html>.
11. Стаття «Методи виготовлення друкованих плат» [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://studopedia.org/6-116440.html>.

					<i>МММТ 480.015.015 – ПЗ</i>	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. EasyEda офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.

13. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання» для студентів за напрямом 6.050702 “ Електромеханіка”/ Укл.: к.т.н., доцент Ключев О.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2017, 143 с.

14. Прецизійний мультиметр CEM DT-9979.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://thermolab.net.ua/ua/p1457521406-pretzionnyj-multimetr-sem.html>.

15. DSO FNIRSI PRO портативный цифровой осциллограф. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://radiostore.com.ua/ua/p969470560-dso-fnirsi-pro.html>.

16. Сайт пошуку роботи work.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.work.ua>.

17. Офіційний сайт Житомиробленерго[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ztoe.com.ua/tariff.php>.

18. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2016. – 271 с.

19. Голінько В.І. Г 60 Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Міністерство освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

					МММТ 480.015.015 – ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		