

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики та комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Розробка системи автоматизації для контролю якості рідини на базі Arduino
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-3
Філатов О.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник Ст. викл. Теслюк С.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
 Кафедра _____ КІТАР _____
 Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
 Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
 Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
 Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____

(підпис)

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Філатову Олексію Валерійовичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розробка системи автоматизації для контролю якості рідини на базі Arduino _____

Затверджена наказом по університету від 03.06.2024р. № 544 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 21.06.2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Мікроконтролер Arduino Nano; _____

3.2 Напруга живлення 5 В; _____

3.3 Датчик температури DS18B20; _____

3.4 Датчик кислотності PH4502; _____

3.5 Датчик TDS; _____

3.6 Двостороння друкована плата 70 мм × 30 мм. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Аналіз параметрів доступних для аналізу в рідині та аналогічних пристроїв для контролю якості рідини. _____

4.2 Аналіз технічного завдання. _____

4.3 Розробка структурної схеми та вибір датчиків для пристрою. _____

4.4 Розробка програми керування пристроєм. _____

4.5 Виготовлення макету СКЯР. _____

4.6 Дослідження стійкості АСУ за алгебраїчними критеріями. _____

4.7 Охорона праці. _____

4.8 Висновок. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій *Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.pptx) – 12 с. формату А4*

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	04.05 – 10.05.24	викон.
2	Аналіз принципів визначення параметрів рідини	11.05 – 15.05.24	викон.
3	Аналіз аналогічних рішень	16.05 – 22.05.24	викон.
4	Розробка структурної схеми макету	23.05 – 27.04.24	викон.
5	Розробка макету системи автоматизації контролю якості рідини	28.05 – 10.06.24	викон.
6	Експериментальне підтвердження...	10.06 – 13.06.24	викон.
7	Проведення розрахунків пов'язаних з охороною праці	14.06 – 15.06.	викон.
7	Подання роботи на перевірку на плагіат	16.06 – 17.06.24	викон.
8	Оформлення пояснювальної записки	17.06 – 18.06.24	викон.
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	18.06 – 20.06.24	викон.
11	Подання атестаційної роботи в ЕК	21.06.2022	викон.

Дата видачі завдання 17.06.2024 р.

Студент _____
(підпис)

Філатов О.В. _____
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ст. викл. Теслюк С.І. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

12 червня 2024 р.



Філатов О.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 76 с., 15 табл., 42 рис., 1 дод., 42 джерело.

КИСЛОТНІСТЬ, КІЛЬКІСТЬ РОЗЧИНЕНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТОК, КОНТРОЛЛЕР, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ РІДИНИ, ПАРАМЕТРИ РІДИНИ, ПОРТАТИВНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РІДИНИ, СОЛОНІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА РІДИНИ.

Об'єкт розробки – процеси підвищення ефективності автоматизованого контролю рідин за декількома параметрами.

Предмет розробки – методи та програмно-апаратні комплекси контролю якості рідин.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка експериментального портативного макету для вимірювання та контролю якості різних рідин.

Актуальність роботи полягає у тому, що зростає кількість ситуацій коли важливо швидко і точно визначити параметри рідини як в професійних так і у побутових цілях.

Практична цінність полягає у подальшій можливості використання макету в цілях дослідження і аналізу параметрів рідини в різноманітних сферах починаючи від домашніх акваріумів, закінчуючи нафтопереробними підприємствами.

Отримані результати розробки можна застосувати для подальшого дослідження параметрів доступних для аналізу, і що може на них впливати. Також вони можуть допомогти в майбутньому проектуванні більш складних систем контролю якості різноманітних речовин, в більш широких сферах застосування. Також, отримані результати можна застосовувати в освітніх цілях, щоб мати змогу проаналізувати принципи роботи сучасних датчиків.

THE ABSTRACT

Explanatory note contains: 76 p., 15 t., 42 figs., 1 app., 42 srcs.

ACIDITY, CONTROLLER, LIQUID PARAMETERS, LIQUID QUALITY CONTROL, LIQUID TEMPERATURE, PORTABLE DEVICE FOR LIQUID QUALITY CONTROL, SALINITY, TOTAL DISSOLVED SOLIDS.

The object of development – processes of increasing the efficiency of automated control of liquids by several parameters.

The subject of development – methods and software-hardware complexes of liquid quality control.

Goal of qualification work – development of an experimental portable layout for measuring and quality control of various liquids.

The relevance of the work lies in the fact that there are an increasing number of situations where it is important to quickly and accurately determine the parameters of the liquids both for professional and everyday purposes.

The practical value lies in the further possibility of using the model for the purposes of research and analysis of water parameters in various areas, from home aquariums to oil refineries.

The obtained results of the development can be used for further research of the parameters available for analysis and the things that can be influenced by them. They can also help in the future modeling of more complex systems for monitoring the quality of various liquids, in wider areas of application. In addition, the obtained results can be used for educational purposes, so that there is more to analyze in operating principles of modern sensors.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ	10
1 Аналіз технічного завдання	12
1.1 Аналіз параметрів доступних до аналізу в рідині	12
1.1.1 Визначення поняття рідини	12
1.1.2 Рівень кислотності рідини	13
1.1.3 Рівень загальної кількості розчинених твердих речовин...	17
1.2 Аналіз принципу роботи сучасних датчиків	18
1.2.1 Принцип визначення TDS	18
1.2.2 Принцип роботи датчиків температури	19
1.2.3 Принцип визначення рН	20
1.3 Аналіз існуючих аналогічних СКЯР	22
1.3.1 Horiba LAQUA WQ330-K-3	22
1.3.2 DIERI 6 in 1 Multi-function water quality detector.....	25
1.3.3 TuYa WiFi 8 In 1 Water Quality Detector	27
1.4 Висновки до першого розділу	29
2 Вибір технічних засобів та створення структурної схеми	30
2.1 Вибір компонентної бази	30
2.1.1 Порівняння датчиків температури	30
2.1.2 Порівняння датчиків кислотності	34
2.2 Аналіз характеристик обраної компонентної бази	38
2.2.1 Аналіз характеристик платформи Arduino Nano	38
2.2.2 Аналіз характеристик датчиків параметрів рідини	40
2.3 Розробка схеми підключення компонентів	44
2.4 Висновки до другого розділу	46
3 Розробка програмного забезпечення для модуля контролю	47

3.1 Вибір середовища розробки ПЗ	47
3.2 Побудова алгоритму роботи пристрою	48
3.3 Розробка програмного забезпечення	49
3.4 Розробка макету СКЯР	53
3.5 Експериментальна перевірка дієздатності макету СКЯР	55
3.6 Дослідження стійкості АСУ за алгебраїчними критеріями	62
3.7 Охорона праці	64
3.8 Висновки до третього розділу	66
Висновки	67
Перелік джерел посилання	69
Додаток А Демонстраційний матеріал	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління;

ДВ – діапазон вимірювання;

ПЗ – програмне забезпечення;

СКЯР – Система контролю якості рідини;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки;

ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція;

ISE – Іон селективний електрод;

pH – рівень кислотності;

RDT – датчик температури опору;

SDA – провід даних;

SCL – провід трактування;

TDS – рівень загальної мінералізації.

ВСТУП

В сьогоднішній день зростає необхідність в більш ретельному аналізі різноманітних речовин. Якість і точність вимірюваних величин в деяких сферах життя може займати незамінну за важливістю роль. В даній роботі ми розглянемо сферу контролю якості рідини, дізнаємось які саме параметри має сенс і практичну користь відстежувати, проаналізуємо існуючі методи визначення параметрів, та які з них забезпечують гнучкість у виконанні різноманітних завдань пов'язаних з відстеженням параметрів рідини.

Сфера застосування системи контролю якості рідини може торкатися найрізноманітніших сфер життя, цей пристрій має змогу визначити параметри великої кількості рідин, починаючи з питної води, різноманітних соків, молока, і доходючи до рідин подібних до мастил, нафти, олії тощо. Сценарії використання можуть варіюватися від необхідності в дослідника-біолога терміново дослідити параметри рідини з водойми в якій розмножуються певні групи організмів, або щоб якомога визначити чи є виток небезпечних речовин в водоймі, або ж використовуватися господинею щоб визначити чи придатна вода для вживання.

Робота відповідає дев'ятій цілі сталого розвитку, а саме створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям.

Дана кваліфікаційна робота націлена на розробку системи автоматизації контролю якості рідини і створення макета та програмного забезпечення для управління роботою пристрою.

Об'єкт розробки – процеси підвищення ефективності автоматизованого контролю рідин за декількома параметрами.

Предмет розробки – методи та програмно-апаратні комплекси контролю якості рідин.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка експериментального портативного макету для вимірювання та контролю якості різних рідин.

Для досягнення поставленої мети у даній роботі необхідно:

- провести аналіз параметрів доступних для визначення в рідині;
- провести аналіз існуючих пристроїв для контролю якості рідини;
- розробити структурну схему;
- розробити макет пристрою;
- розробити програмне забезпечення для керування пристроєм;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з

методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи добувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [2-4].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз параметрів доступних до аналізу в рідині

1.1.1 Визначення поняття рідини

На сьогоднішній день прийнято розділяти матерію на два основних типи – тверді тіла та рідини. Звичним способом для розрізнення твердого тіла та рідини – це аналіз картин отриманих шляхом дифракційних експериментів, а саме гострих відбиттях Брегга у випадку твердих тіл, та дифузних кілець у випадку рідин, що, загалом кажучи не дуже очевидна відмінність. Атоми в склі та аморфних твердих тілах також не мають впорядкованого розташування. Найяскравішим прикладом для розуміння концепту аморфних твердих тіл є скло – його тягучість є настільки повільною що вона не помітна за звичних інтервалів спостереження. Фактично молекули скла завжди знаходяться у постійному стані руху, проте ця мобільність молекул є настільки повільною, що зазвичай ми розглядаємо скло як тверду речовину. Тому рідини можна визначити як речовини, які течуть під впливом напруги зсуву (незалежно від того наскільки напруга може бути малою).

Однак ця різниця не настільки очевидна між рідинами та газами, хоча в основному (хоч і не виключно) газу утворюють скоріше підмножину рідин. Новаторська теорія Ван-дер Ваальса безперервності газоподібного і рідкого станів дали якісну інтерпретацію еквілібріуму пару та рідини, і існування критичної точки. Відповідно до цієї теорії, при температурах нижче критичної точки газоподібна і рідка фази можуть співіснувати в рівновазі. Вище критичної точки є лише одна фаза рідини, тобто можна безперервно переходити від рідини низької щільності до рідини високої щільності. Це означає, що рівноважна рідина високої щільності нижче критичної температури, згідно з теорії Ваальса – це рідина, яка чимось відрізняється від рідини такої ж щільності, але

при температурі вище критичної температури. Фактично, при температурах вище критичної, співіснування текучих фаз не спостерігається; це означає, що різниці між газом і рідиною немає [5].

Все в цьому світі має свою температуру, це базова рушійна сила для зміни фізичного і хімічного стану речовини, тому за впливу температури всі інші показники рідини також можуть змінюватися в залежності від цього параметру. До параметрів речовини які змінюються з температурою можна віднести показник степеню кислотності речовини.

1.1.2 Рівень кислотності рідини

Принципи рН починаються з визначення терміну рН. Літера р походить від слова «power» (потужність, в даному випадку рівень), а літера Н звичайно є символом елемента водню. Тобто разом цей термін означає показник іонів водню. Кажучи простими словами рН –це рівень кислотності [6].

Рівень рН речовини є мірою її кислотності так само, як градус є мірою температури. Конкретне числове значення рН говорить про точну кислотність. Замість утвердження загально відомих фактів, як наприклад те що апельсиновий сік – кислий, або те що вода гаряча, конкретне значення рН дає ту саму відносну точку відліку, таким чином забезпечуючи більш конкретнішу комунікацію.

Апельсиновий сік має рН 4.0, а вода при 80°C – гаряча, ці вираження забезпечують точне визначення раніше зазначених фактів.

рН визначається в термінах активності іонів водню (1.1):

$$pH = -\log_{10} a_{H^+} \quad \text{або} \quad 10^{-pH} = a_{H^+} \quad (1.1)$$

рН дорівнює негативному логарифму активності іонів водню, або активність іонів водню дорівнює 10 зі степеню -рН. Завдяки крайньому виразу використання показника р стає більш очевидним. Активність – це ефективна концентрація іона водню, який знаходиться в розчині. В основному різниця між

ефективною та фактичною концентрацією зменшується при переході до більш розбавлених розчинів, у яких іонна взаємодія поступово стає менш важливою.

Формула для рН аналогічна зв'язку між абсорбацією (А) і пропусканням (Т), тобто $A \log T$. Однак у цій логарифмічній функції діапазон зазвичай набагато вужчий, ніж для рН. Важливою подібністю є логарифмічне співвідношення, тобто за кожен декаду зміни активності рН змінюється на одну одиницю. Обсяг цього зв'язку показано на рисунку 1.1.

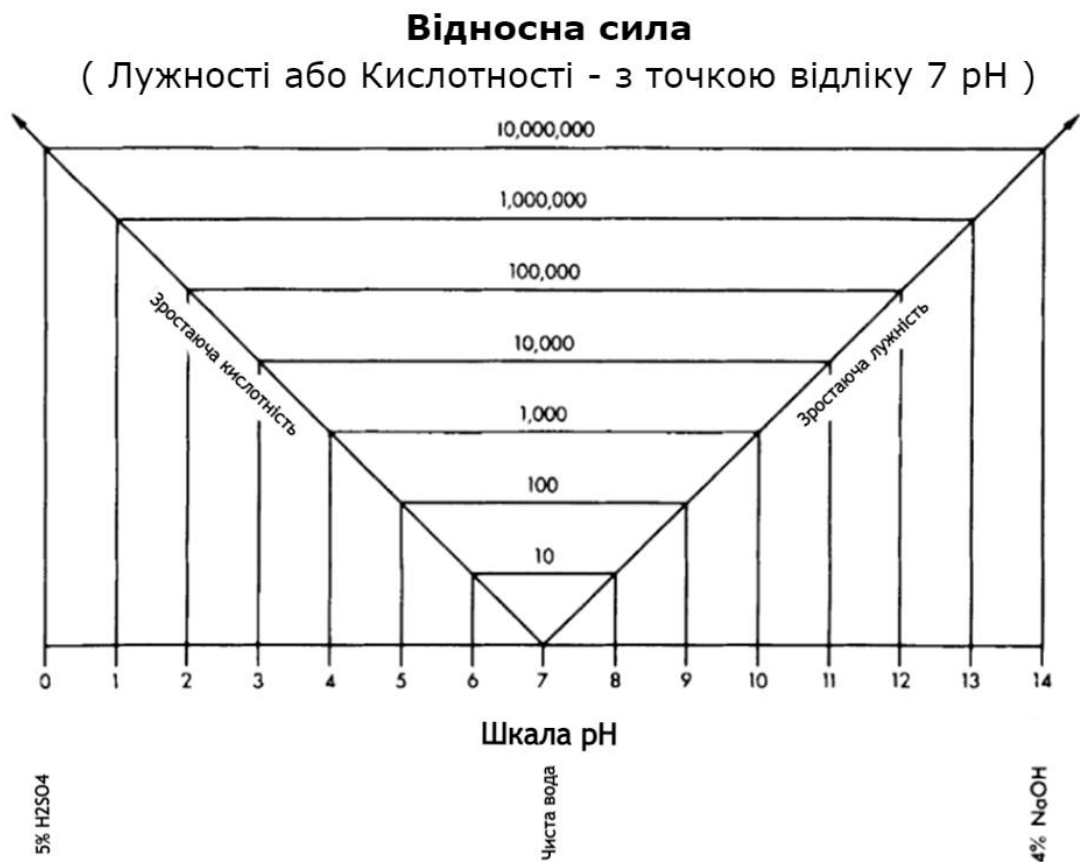


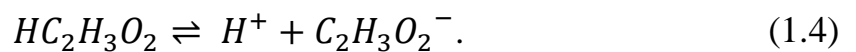
Рисунок 1.1 – Логарифмічне відношення шкали рН [6]

Десятичний коефіцієнт між кожною одиницею рН показує важливість можливості виміряти рН з точністю до десятої або принаймні сотої одиниці.

Зазвичай посилення робиться на іон водню, коли мається на увазі іон гідронію (H_3O^+). Те що згадується лише іон водню – це питання зручності та стислості, хоча зазвичай він знаходиться в сольватованій формі:



Комплексоутворення іонів водню з водою є фактором, що впливає на активність і стосується інших іонів, які частково утворюють комплекс або встановлюють рівновагу з іоном водню.



Комплексія іонів водню приводить до того що система вимірювання рН не виявляє їх, ось чому кислотно-основне титрування виконується якщо потрібна загальна концентрація кислоти (H^+).

Факторами які впливають на коефіцієнт активності, є температура T , іонна сила u , діелектрична проникність ϵ , заряд іона Z_1 , розмір іона в ангстремах Å та густина розчинника d . Усі ці фактори є характеристиками розчину, які пов'язують активність із концентрацією за допомогою двох основних ефектів. Перший – ефект солі, позначений як $\int^x H^+$. Його можна наближено визначити для іона водню виразом:

$$\log \int^x H^+ = \frac{-0,5u^{1/2}}{1+3u^{1/2}}, \quad (1.5)$$

де u – іонна сила, що визначається як половина суми молярності помноженої на квадрат заряду іонного виду:

$$u = \frac{1}{2} \sum C_m Z_i^2. \quad (1.6)$$

Більш точне визначення цього сольового ефекту можна знайти за допомогою рівняння Дебая-Хюккеля [6]. Інші фактори використовуються для визначення цього рівняння, таким чином показуючи їхній вплив на вимірювання.

Шкала рН була створена, щоб забезпечити зручний і ефективний спосіб зв'язку щодо відносної кислотності та основності конкретного розчину. Його діапазон базується на константі дисоціації води K_w ($K_w = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$). У чистій воді концентрації іонів водню і гідроксильних іонів дорівнюють 10^{-7} М при температурі 25 °С. Це нейтральна концентрація. Оскільки більшість зразків буде мати менш ніж 1 М H^+ або OH^- . Крайні значення рН 0 і рН 14 встановлені. Для сильних кислот або лугів можливі значення рН нижче нуля і вище 14, проте вимірюються нечасто. Зміна константи дисоціації K_w з температурою впливає на рН, при якому досягається нейтральність і у відношенні рН на основний розчин (табл. 1.1). Ця зміна має менший ефект на кислі розчини.

Таблиця 1.1 – Відношення температури до шкали рН [6]

Температура (°С)	$-\log K_w$	K_w
0	14,943	$1,14 \cdot 10^{-15}$
10	14,535	$2,9 \cdot 10^{-15}$
20	14,167	$6,8 \cdot 10^{-15}$
25	13,996	$1 \cdot 10^{-14}$
30	13,833	$1,47 \cdot 10^{-14}$
40	13,535	$2,9 \cdot 10^{-14}$
50	13,262	$5,47 \cdot 10^{-14}$
60	13,017	$9,6 \cdot 10^{-14}$

Нейтральний розчин, або розчин 1 М OH^- мають різні значення рН залежно від температури, і цей вплив на значення рН збільшується з більшою лужністю. Крім того, відхилення від рН 7,0 як нейтрального або 14,0 як 1 М OH^-

збільшується за девіації від температури 25 °С , за якої шкала рН від 0 до 14 є симетричною щодо нейтральності (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Відношення нейтральних та основних розчинів до температури [6]

Розчини	Температура (°С)		
	25°	0°	60°
Нейтральні			
10	10^{-7}	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$
20	10^{-7}	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$
25	7	7,47	6,51
Основні			
40	10^{-14}	$1,14 \cdot 10^{-15}$	$9,6 \cdot 10^{-14}$
50	10	10	10
60	14	14,943	13,017

1.1.3 Рівень загальної кількості розчинених твердих речовин

Одним із найяскравіших прикладів рідини безумовно є вода, в неї, як і в усіх інших рідинах є різний рівень температури і кислотності, однак поміж цих визначених параметрів якості необхідно зазначити можливість попадання і розчинення у іонів інших речовин у рідину, цей рівень називається рівнем загальної кількості розчинених твердих речовин (TDS – Total Dissolved Solids).

Концентрація загальної кількості розчинених твердих речовин (TDS), присутніх у воді, є одним із найважливіших факторів, що надають воді смаку, а також забезпечує її такими важливими іонами, як кальцій, магній, калій і натрій.

Смакові якості води з рівнем TDS менше 600 мг/літр зазвичай вважаються хорошими; питна вода стає значно та дедалі несмачнішою при рівнях TDS, що перевищують приблизно 1000 мг/літр [7].

Проте вода з високим показником TDS зазвичай вказує на забруднення внаслідок людської діяльності, наприклад ґрунту та сільськогосподарських стоків, спричинених зрошенням, нерегульованим випасом тварин і впливом на дику природу, екологічно шкідливими методами землеробства, а також надмірним використанням добрив на основі нітратів, тощо.

Навколо туристичних зон, а також державних парків ці фактори повільно накопичуватимуться з часом і впливатимуть на водні джерела поблизу. Вода, яка тече через природні джерела та водні шляхи з високою концентрацією органічних солей у мінералах і породах, або підземна вода, яка походить із свердловин із високою концентрацією солі, також призведе до більш високого вмісту іонів цих часток.

Хоча показник TDS дійсно важливий у контексті аналізу і підтримання бажаної кількості розчинених солей та мінералів у воді, цей показник не прив'язаний лише до неї, теоретично будь яку рідину в припустимих температурних діапазонах можна проаналізувати на рівень TDS, задля виявлення відхилення або відповідності до необхідної кількості розчинених часток.

1.2 Аналіз принципу роботи сучасних датчиків

1.2.1 Принцип визначення TDS

Рівень TDS включає в себе матеріали, які через свій малий розмір проходять через більшість фільтрів під час аналізу води [8], це такі розчинені іонні складові, як Mg_2^+ , Ca_2^+ , Na^+ та Cl^- . Ці іони створюють проблеми в системах очищення питної води та стічних вод, оскільки вони не видаляються різними методами механічного очищення [10]. TDS і солоність визначаються по-різному [9]. TDS – це вимірювання маси розчинених органічних і неорганічних речовин, які можна фільтрувати, на одиницю об'єму, що залишилася від випаровування води [9].

Солоність, на відмінну, вимірює масу розчинених солей у відомій масі розчину. TDS може бути близьким за значенням до солоності у чистій воді [11]. Більш високі концентрації TDS у воді означають підвищену провідність, а також можуть означати зниження розчиненого кисню [12]. TDS складається з солей, металоїдів, металів і розчинених органічних речовин. Органічно отриманий TDS утворюється шляхом вивільнення органічних молекул під час росту та розпаду біологічних речовин, таких як коріння та мікроби в потоках. Інші фактори, що сприяють зростанню TDS у потоках, включають розчинення мінералів у ґрунтах чи осадах, десорбцію іонів, пов'язаних із твердими речовинами, та атмосферні опади (якщо звісно, мова йде про водойми). Хімічні та біологічні процеси, включаючи температуру, концентрацію розчиненого кисню, рН, органічний вуглець і розпад порід, також являються сприяючими фактори [13].

Підвищення температури посилює осушення потоку та викликає підвищення концентрації TDS. Види мінералів та їх кількість у воді сильно впливають на якість води.

1.2.2. Принцип роботи датчиків температури

Датчик температури це пристрій, як правило, термопара або резистивний детектор температури, який забезпечує вимірювання температури в зрозумілій формі за допомогою електричного сигналу.

Термометр найпростіша форма вимірювача температури, яка використовується для вимірювання ступеня гарячості та прохолоди.

Термопара (Т/С) виготовлена з двох різнорідних металів, які генерують електричну напругу прямо пропорційно зміні температури. RTD (датчик температури опору) це змінний резистор, який змінює свій електричний опір прямо пропорційно зміні температури точним, повторюваним і майже лінійним чином.

Датчик температури – це пристрій, призначений для вимірювання ступеня нагрівання або прохолоди об'єкта. Робота вимірювача температури залежить від

напруги на діоді. Зміна температури прямо пропорційна опору діода. Чим нижче температура, тим меншим буде опір, і навпаки.

Опір на діоді вимірюється та перетворюється в зчитувані одиниці температури (Фаренгейт, Цельсій, Цельсій тощо) і відображається в цифровій формі над одиницями зчитування [14].

1.2.3 Принцип визначення рН

Розглянемо базовий метод вимірювання значення рН, для подальшого розуміння принципу роботи відповідних датчиків.

Активність іона водню в розчині вимірюється за допомогою системи вимірювання рН, що зазвичай, складається зі скляного електрода, порівнюючого електрода та рН-метра.

Коли рН-чутливу скляну колбу занурюють у розчин, між іоном водню та іонами в склі встановлюється обмінна рівновага. Ця рівновага є джерелом вимірюваного потенціалу. Потенціал, який вимірюється, змінюється залежно від активності іонів водню відомим чином. Однак одного скляного електрода недостатньо для вимірювання потенціалу, оскільки для завершення вимірювального кола потрібен порівнювальний електрод.

Порівнювальний електрод забезпечує стабільний опорний потенціал, з яким можна порівняти потенціал скляного електрода. Порівнювальний електрод забезпечує стабільний потенціал, оточуючи внутрішній елемент зазначеним розчином. Наприклад, внутрішня частина каломелі оточена насиченим розчином хлориду калію для забезпечення 244 мВ навпроти водневого електрода. Розчин для заповнення контактує з розчином зразка через з'єднання, щоб завершити ланцюг.

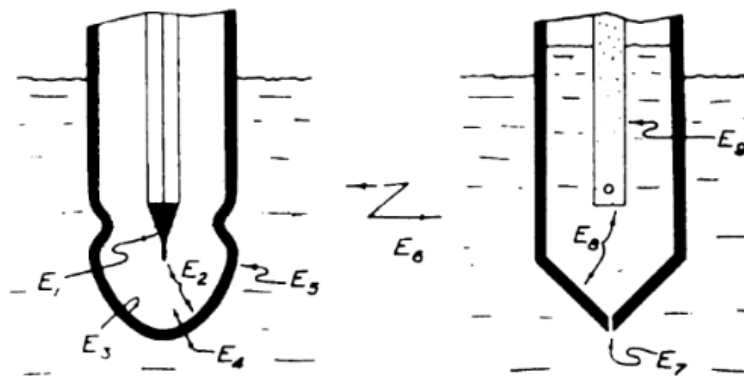
Таким чином, потенціал скляного електрода E пропорційний активності іонів водню a_H , а опорний потенціал E пропорційний стандартному потенціалу E^0 , який залежить від типу внутрішнього.

У вимірювальній системі потенціал скла порівнюється з порівнювальним потенціалом, а різниця між цими потенціалами є спостережуваним потенціалом. Це спрощена форма спостережуваного потенціалу, оскільки насправді залучено багато потенціалів, як показано на рисунку 1.2.

Внутрішній дріт скляного електрода створює потенціал із розчином всередині скляної колби (E_1). Між внутрішнім розчином і внутрішньою скляною поверхнею (E_2) існує потенціал. Потенціал, представлений як E_5 на рисунку 1.2, є потенціалом, встановленим активністю іонів водню.

Внутрішній потенціал електрода порівняння представлений як E_9 , а потенціал переходу порівняння представлений як E_7 . Саме цей останній потенціал E_7 буде обговорюватися детально, оскільки він є причиною більшості проблем, що виникають під час вимірювання рН.

Залишається сподіватися що всі потенціали, крім E_5 , є стабільними та відтворюваними, так що єдиною змінною є потенціал, встановлений активністю іонів водню.



E_1 – різниця між внутрішнім потенціалом і розчином; E_2 – між внутрішнім потенціалом і мембраною скла; E_3 – між рідиною та внутрішньою мембраною; E_4 – внутрішньої і зовнішньої мембрани; E_5 – між зразком і порівнювальним електродом; E_6 – між склом та порівнювальним електродом; E_7 – між рідким спаєм та зразком; E_8 – внутрішнім і заливним розчином; E_9 – внутрішніх елементів

Рисунок 1.2 – Джерела потенціалів [6]

1.3 Аналіз існуючих аналогічних СКЯР

Розглянемо існуючі варіанти пристроїв для контролю якості рідини, що визначити їх особливості та зробити висновки для подальшого проектування власної системи автоматизації контролю якості рідини. Визначимо їх загальні параметри, вагу, розміри, діапазони вимірювання (ДВ), можливі похибки, тощо.

1.3.1 Horiba LAQUA WQ330-K-3

Система контролю якості рідини Horiba LAQUA WQ330-K-3 (рис. 1.3) являється надзвичайно професійною системою для контролю великого спектру параметрів рідини, але все ж спрямованого в основному для аналізу води або рідин у її складі [15].

До параметрів які здатен вимірювати і відобразити цей пристрій відносяться: Провідність рідини, рН, TDS, питомий опір, солоність, температура, кількість розчиненого кисню, рівень аміаку, кальцію, хлориду, нітрату, фториду, калію.



Рисунок 1.3 – Пристрій Horiba LAQUA WQ330-K-3 [15]

Хоча ці параметри доступні для контролю, сам пристрій являє собою пристрій з LCD дисплеєм та з LED і загальним розміром 7 см × 5,2 см, здатний до роботи в багатьох кондиціях, що має три канали зв'язку з датчиками конфігурація котрих може змінюватися за потреб користувача, тобто виміряти всі параметри водночас, або в близький до того проміжок не є можливим.

За розмірів самого пристрою (без периферії) 430 мм × 400 мм × 110 мм, та вагою у розмірі 2,25 кг, можна зробити висновок що це портативний і достатньо компактний пристрій і враховуючі кількість можливих для вимірювання параметрів цей пристрій забезпечує, можна назвати його досить легким у вазі, проте більш простіші пристрої все одно будуть набагато легші і більш компактні аніж цей екземпляр.

Більшість параметрів які можуть бути виміряні цим пристроєм пов'язані з використанням не лише технічних засобів, але і хімічних, що потребує додаткової наявності, і поповнення запасів хімічних реагентів для забезпечення можливості аналізу цих параметрів.

Хоча цей пристрій і забезпечує можливість налаштовувати тип вимірюваних параметрів, з достатньо високою точністю вимірювання. Його ціна яка становить від 500 євро до 2000 євро (в залежності від обраної конфігурації датчиків) може виявитися не прийнятною для більшості користувачів, особливо тих які не потребують визначення занадто специфічних параметрів рідини, в менш професіональному та більш побутовому середовищі. Проте як високо професіональний та досить точний у вимірюваннях пристрій це дуже гарний варіант.

Можливість власноруч конфігурувати тип датчиків для використання частково компенсує високу ціну пристрою, тому що це дозволяє кожному користувачу отримати конкретно те чого він потребує, не переплачуючи за потенційно марні датчики котрі не будуть використані користувачем.

Перелік датчиків які можливо під'єднати до цього пристрою та їх ціна наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Датчики які можливо встановити на Horiba WQ330-K

Датчик	Довжина	Вартість
Кабель pH-2	2 м	434,35 €
Кабель pH-5	5 м	458,15 €
2-електродний, TDS, опір, солоність, з нержавіючої сталі датчик від 0,01 до 500 uS/cm	2 м	719,95 €
2-електродний, TDS, опір, солоність, з нержавіючої сталі датчик ДВ від 0,01 до 500 uS/cm	5 м	743,75 €
4-електродний, TDS, опір, солоність, з епоксиду датчик ДВ від 10 до 2000 uS/cm	2 м	543,83 €
4-електродний, TDS, опір, солоність, з епоксиду датчик ДВ від 10 до 2000 uS/cm	5 м	567,63 €
Датчик аміаку (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик аміаку (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик кальцію (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик кальцію (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик хлориду (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик хлориду (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик фториду (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик фториду (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик нітрату (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик нітрату (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик калію (ISE)	2 м	1291,15 €
Датчик калію (ISE)	5 м	1314,95 €
Датчик No. 895765 – оптичний датчик розчиненого кисню у рідині	2 м	886,55 €
Датчик No. 895765 – оптичний датчик розчиненого кисню у рідині	5 м	952,00 €

1.3.2 DIERI 6 in 1 Multi-function water quality detector

Пристрій DIERI 6 in 1 Multi-function water quality detector (рис. 1.4) спрямований на портативність та компактність. Його вироблено з ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) пластику, що забезпечує високу термостійкість, твердість, міцність. Хоча і стверджується що він містить в собі 6 датчиків в одному, на справді ж до технічних датчиків в цьому приладі можна лише віднести датчики, рН, температури, розчиненого кисню у рідині, та солоності, вимірювання рівню амонію і нітратів повністю залежать від сторонніх хімічних методів аналізу [16].



Рисунок 1.4 – Пристрій DIERI 6 in 1 Multi-function water quality detector [16]

Більшість параметрів цього датчику співпадають з попередньо розглянутим, проте він має трохи нижчу ціну через меншу можливість до налаштування до конфігурації датчиків що використовуються.

Всі характеристики наведені на сайті продавця зазначено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. – Параметри приладу DIERI 6 in 1

Специфікації	Значення
Матеріал	ABS пластик
ДВ датчику розчиненого кисню	Від 0 мг/л до 30,0 мг/л, похибка у розмірі 0,1 мг/л +3,0%
ДВ датчику кислотності	Від 3.5 рН до 11 рН, похибка у розмірі 0,1 рН \pm 0,2 рН
ДВ нітриту	Від 0 мг/л до 1,00 мг/л, похибка у розмірі 0,01 мг/л \pm 5% або \pm 0,01 мг/л
ДВ аміачного азоту	Від 0 мг/л до 1,00 мг/л, похибка у розмірі 0,01 \pm 5% або \pm 0,01 мг/л
ДВ	Від 0 °С до 50 °С
Роздільна здатність	0,1 °С
Точність	\pm 0,5 °С
Компенсація солоності	Від 0 ppt до 42 ppt
Розмір LCD	27 мм \times 45 мм
Довжина кабелю	3,5 м включаючи зонд
Розмір пристрою	164 мм \times 70 мм \times 30 мм
Вага пристрою	132 г
Повна ціна	230,43 €

При своїх розмірах 164 мм \times 70 мм \times 30 мм, і достатньо малій вазі у розмірі 132 г, цей пристрій дійсно можна вважати компактним, хоча все ж таки близький за призначенням і діапазоном вимірювань і при цьому більш маленький за розмірами прилад, теоретично можливо зробити, що і буде з'ясовано в наступних етапах роботи.

1.3.3 TuYa PH-W218 WiFi 8 In 1 Water Quality Detector

Пристрій TuYa PH-W218 WiFi 8 In 1 Water Quality Detector (рис. 1.5) китайського виробництва котрий крім своєї низької ціни також дуже цікавий з точки зору відображення інформації на великих відстанях завдяки інтегрованому Wi-Fi модулю, та своїми розмірами при тому що спектр вимірюваних параметрів залишається достатньо високим [17].



Рисунок 1.5 – Пристрій TuYa PH-W218 WiFi 8 In 1 Water Quality Detector [17]

Цей пристрій досить компактний та легкий, проте його портативність стає питанням, тому що він потребує живлення від мережі 220 В, це разом із фактом того що пристрій має доступ до мережі Wi-Fi, підштовхує на те щоб використовувати цей пристрій як стаціонарний пристрій моніторингу якості води, який необхідно заздалегідь встановити в середовище чи локацію з необхідною рідиною, забезпечити зв'язок з інтернетом і віддалено за допомогою додатку який забезпечує розробник пристрою відстежувати параметри рідини.

Але з точки зору портативного пристрою, ці особливості є скоріше недоліком, і попередньо розглянуті варіанти більше підходять для польових і важких ізольованих умов де вони мають перевагу і більшу доречність.

Характеристики надані продавцем на сайті пристрою Tuya PH-W218 WiFi 8 In 1 Water Quality Detector наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Характеристики пристрою Tuya PH-W218 WiFi 8 In 1 Water Quality Detector

Кабель живлення	EU-штекер
ДВ рН	Від 0 рН до 14 рН похибка $\pm 0,03$ рН
ДВ електричної провідності	Від 0 us/см до 19000 us/см похибка $\pm 2\%$
ДВ коефіцієнту провідності	Від 0 CF до 1999,0 CF похибка $\pm 2\%$
ДВ солоності	Від 0 ppt до 199,9 ppt похибка $\pm 2\%$
ДВ DTS	Від 0 ppm до 19990 ppm похибка $\pm 2\%$
ДВ температури	Від 0 °C до 50 °C похибка $\pm 1,0$ °C
Робоча температура	Від 0 °C до 50 °C
Розмір пристрою	152 мм \times 80 мм \times 26 мм
Вага пристрою	245 г
Повна ціна	129,68 €

1.4 Висновки до першого розділу

В першому розділі роботи було проведено аналіз існуючих параметрів для вимірювання в рідині, розкрито визначення поняття рідини для подальшого аналізу, та було розглянуто існуючі аналоги пристроїв які спрямовані на контроль якості рідини, задля подальшої реалізації проекту з розумінням існуючої проблематики, та можливостей для реалізації в подальшому проекті.

Можна зробити висновок що існує безліч гарних варіантів для професійної діяльності, коли бюджет і час виконання операцій не є основним питанням, тому доцільно зробити висновок що є потенціал в збільшені компактності пристроїв які можуть виконувати близькі за ціллю задачі.

На основі проведеного аналізу було визначено необхідність створення компактного, портативного, фінансово доступного, і більш загально спрямованого пристрою без додаткових зовнішніх хімічних реагентів для аналізу якості рідини для використання як в польових так і в більш побутових, статичних цілях.

2 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1 Вибір компонентної бази

2.1.1 Порівняння датчиків температури

Розглянемо декілька популярних, широко розповсюджених прикладів існуючих датчиків які спрямовані на вимірювання температури рідини, на основі принципів які були розглянуті у попередніх розділах роботи.

DS18B20 – це цифровий датчик температури, який використовує провідний інтерфейс для зв'язку з Arduino. Він має малий розмір, низьку вартість і високу точність. DS18B20 може бути поміщений у водонепроникний корпус для вимірювання температури рідини [18].

Зовнішній вигляд датчика DS18B20 наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Датчик DS18B20 [19]

Під водонепроникними корпусами розуміють:

- пластикові корпуси прості та доступні, але не дуже міцні;
- корпуси з нержавіючої сталі міцніші, ніж пластикові, і вони витримують вищі температури;

– скляні корпуси найбільш вразливі до пошкоджень, але вони дозволяють забезпечити найкращу теплову провідність.

PT100 – це термометр опору, який має високу точність і широкий діапазон робочих температур. PT100 потребує додаткового електронного інтерфейсу для підключення до Arduino Nano.

Зовнішній вигляд датчика PT100 наведено на рисунку 2.2.

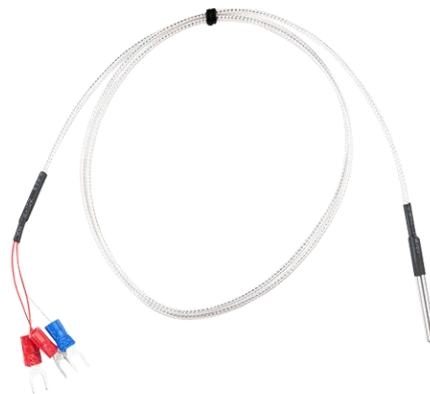


Рисунок 2.2 – Датчик PT100 [20]

K-type термопара – це термопара, яка має швидкий відгук і може використовуватися для вимірювання високих температур. В нашому випадку це хром-алюмінієвий датчик. K-type термопара потребує додаткового електронного інтерфейсу для підключення до мікроконтролерів таких як Arduino Nano, тощо.

Зовнішній вигляд K-type термопари наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – K-type термопара [21]

Датчик DS18S20 – це цифровий датчик температури, який схожий на DS18B20, але він має менший розмір і може бути поміщений у менший корпус. DS18S20 може бути поміщений у водонепроникний корпус для вимірювання температури рідини.

В даному прикладі датчик DS18S20 має конектор M12 для підключення до виконуючого пристрою, проте це не є стандартом, цей датчик підтримує різноманітні типи підключення. M12 в даному випадку забезпечує герметичне з'єднання і краще справляється з вібраціями, що робить цей тип підключення більш доречним в промислових умовах підвищеної вологості та вібрацій.

Зовнішній вигляд датчика DS18S20 наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Датчик DS18S20 [22]

MAX6675 – це цифровий датчик температури, який використовує інтерфейс SPI (послідовний периферійний інтерфейс) для зв'язку з Arduino. Він має дуже низьке енергоспоживання і може вимірювати температуру в дуже широкому діапазоні. MAX6675 може бути поміщений у водонепроникний корпус для вимірювання температури рідини [24].

Зовнішній вигляд датчика MAX6675 наведено на рисунку 2.5.

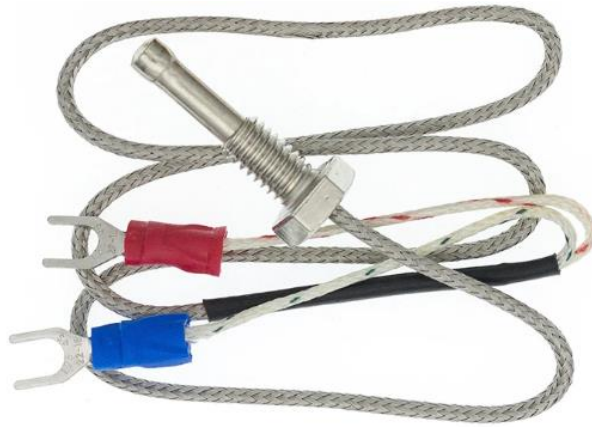


Рисунок 2.5 – Датчик MAX6675 [23]

В таблиці 2.1 наведено порівняння зазначених раніше датчиків за типом, типом інтерфейсу, допустимим діапазоном робочих температур, точністю, кількістю споживання струму та за ціною (приблизною).

Таблиця 2.1 – Порівняння датчиків за технічними параметрами

Датчик	Тип	Інтерфейс	Діапазон	Точність	Струм	Ціна
DS18B20	цифровий	1-wire	від -55 °C до +125 °C	±0,5 °C	0,5 мА	від 1 \$ до 5 \$
PT100	термометр	3-wire	від -200 °C до +850 °C	±0,1 °C	1 мА	від 5 \$ до 20 \$
K-type	термопара	2-wire	від -200 °C до +1200 °C	±0,5 °C	0,1 мА	від 10 \$ до 50 \$
DS18S20	цифровий	1-wire	від -55 °C до +125 °C	±0,5 °C	0,5 мА	від 40 \$ до 50 \$
MAX6675	цифровий	SPI	від -20 °C до +150 °C	±0,0625 °C	0,5 мА	від 5 \$ до 10 \$

В таблиці 2.2 наведено якісний аналіз визначених переваг та недоліків.

Таблиця 2.2 – Порівняння датчиків за технічними параметрами

Датчик	Переваги	Недоліки
DS18B20	Малий розмір, низька вартість, висока точність	Потрібен 1-провідний інтерфейс, потребує водонепроникного корпусу
PT100	Висока точність, широкий діапазон робочих температур	Потребує додаткового електронного інтерфейсу, середня цінова категорія, найбільше споживання
K-type	Швидкий відгук, може вимірювати високі температури	Потребує додаткового електронного інтерфейсу, висока цінова категорія
DS18S20	Малий розмір, може бути поміщений у менший корпус	Нижча точність, ніж у DS18B20, потребує водонепроникного корпусу, має більш меншу доступність на ринку, хоча за параметрами досить схожий на DS18B20
MAX6675	Дуже низьке енергоспоживання, широкий діапазон робочих температур, інтерфейс SPI.	Дорожчий, ніж інші датчики, потребує водонепроникного корпусу.

Після проведення порівняльної характеристики обраних датчиків, було вирішено доцільним використання датчику DS18B20 для подальшої реалізації системи автоматизації контролю якості рідини на базі Arduino.

2.1.2 Порівняння датчиків кислотності

Більшість датчиків кислотності рідини застосовують наведений раніше принцип визначення рівню рН. Необхідно розглянути датчики з можливістю підключення до Arduino, так як з попередніх порівнянь стало очевидно що це ключовий фактор для доречності датчику, так як система контролю буде базуватися на платформі Arduino.

Датчик PH4502 (рис. 2.6) є одним із найпопулярніших датчиків в своїй категорії, розглянемо ж його характеристики та порівняємо їх з іншим датчиком.



Рисунок 2.6 – Датчик кислотності PH4502 з пробую [25]

Характеристики типового датчику рН рідини наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики датчику PH4502

Робочий струм	від 5 мА до 10 мА
Діапазон температурного виявлення	від 0 °С до 80 °С
Час відгуку	≤ 5 с
Час стабілізації	≤ 60 с
Робоча температура	від -10 °С до 50 °С
Розмір	42 мм × 32 мм × 20 мм
Робоча напруга	5 В $\pm 0,2$ В
Діапазон	від 0 рН до 14 рН
Лужна похибка	0,2 рН
Внутрішній опір	≤ 250 МОм
Час відгуку	≤ 1 хв

Зонд-електрод рН є точним і надійним, що дає можливість майже миттєво отримувати дані.

В цьому датчику також є можливість підключення датчика температури з менш задовільними характеристиками ніж окремі датчики температури, проте це гарний фактор на випадок коли основний датчик температури може зламатися.

DFRobot Gravity – рН analog sensor (рис. 2.7) – це дуже схожий за принципом побудови, та аналогічний за принципом роботи до попереднього датчик, проте все одно варто оцінити його характеристики, задля подальшого вибору в реалізації макету.



Рисунок 2.7 – Датчик кислотності DFRobot Gravity – рН analog sensor [26]

Характеристики датчику кислотності DFRobot Gravity – рН analog sensor наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики DFRobot Gravity – pH analog sensor

Напруга живлення	5 В
Діапазон вимірювання	від 0 рН до 14 рН
Робоча температура	від 0 °С до 60 °С
Лужна похибка	0,1 рН
Час стабілізації	≤60 с
Розмір	43 мм × 32 мм

Електрод рН має єдиний циліндр, що дозволяє безпосередньо підключати його до вхідного терміналу рН-метра, контролера або будь-якого рН-пристрою, який має вхідний термінал BNC (Bayonet Neil-Concelman). Обидва датчики мають вхідний термінал BNC [27].

В обох датчиках є 2 типи зондів котрі можуть бути застосовані, одинарні (котрі стають непридатними до роботи після вичерпання ресурсу), та з можливістю повторної заправки нейтральним розчином. Зонд-електрод рН є точним і надійним, що дає можливість майже миттєво отримувати дані.

Обидва датчики дуже близькі за параметрами, але все ж таки PH4502 має декілька переваг, а саме:

- роз'єм для датчику температури, дає більше можливостей;
- ціна, цей датчик на багатьох ринках технічних товарів має нижчу ціну за DFRobot Gravity, при тому що він має трішки більше можливостей;
- можливість вибору між одинарним і з зондом з можливістю заправки, на відміну від DFRobot Gravity, є можливість одразу придбати тільки одноразовий зонд-електрод, що дає більше варіативності, наприклад коли є ціль просто замінити електрод коли він виснажить, а не повторно заправляти його. Але водночас доступний варіант із багаторазовим зондом-електродом, що є більш доречнішим для тривалих і багаторазових вимірювань.

2.2 Аналіз характеристик обраної компонентної бази

2.2.1 Аналіз характеристик платформи Arduino Nano

Для розробки макету необхідно обрати елементи які будуть задіяні у ньому. Першим на черзі є вибір платформи, на якій буде працювати логіка маніпулятора.

Платформою для даного проекту буде використана плата Arduino Nano. Ця плата побудована на базі ATmega328P (рис. 2.8).

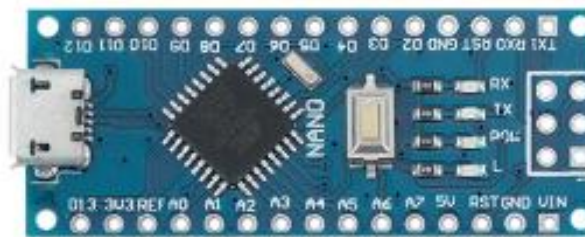


Рисунок 2.8 – Arduino Nano [28]

Платформа має 14 цифрових входів/виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи з підтримкою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ)), 8 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм мікро USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP та кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютеру за допомогою кабелю мікро USB.

Живлення плати може відбуватися за допомогою її підключення до комп'ютера шнуром мікро USB, або за допомогою блока живлення від 6В до 20В з низьким рівнем пульсації підключеного безпосередньо до пінів Vin та Gnd.

Основні характеристики наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.5 – Характеристика платформи Arduino Nano

Мікроконтролер	АТmega328P
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	від 7 В до 12 В
Вхідна напруга (гранична)	від 6 В до 20 В
Цифрові входи/виходи	14 (6 з яких можуть використовуватись як виходи для ШІМ)
Аналогові входи	8
Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
Постійний струм для виводу 3.3 В	50 мА
Флеш-пам'ять	32 кБ (АТmega328P) із яких 0,5 кБ використовуються для завантажувача
ОЗУ	2 кБ (АТmega328)
EEPROM	1 кБ (АТmega328)
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	18 мм × 45 мм

Дану платформу було обрано для реалізації проекту за такими критеріями:

- доступність (дешевизна та розповсюдженість на ринку);
- має інтерфейс для роботи з протоколом I2C;
- має широкий вибір допоміжних компонентів в силу своєї популярності;
- низьке енергоспоживання;
- компактність, плата має один з найменших розмірів: 18 мм × 45 мм.

2.2.2 Аналіз характеристик датчиків параметрів рідини

З огляду на розглянуті раніше параметри котрі можуть бути виміряні, було обрано для втілення системи аналізу якості рідини датчики температури, TDS та рН.

Датчик TDS (загальної суми розчинених речовин) вимірює електропровідність розчину (EC), що пропорційна концентрації розчинених речовин (TDS).

Зовнішній вигляд плати та пробки наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Датчик TDS з пробками[29]

Технічні характеристики датчика TDS наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6– Характеристика датчика TDS

Робоча напруга	від 3,3 В до 5,5 В
Вихідний сигнал	від 0 В до 2,3 В
Діапазон виміру	від 0 ppm до 1000 ppm
Точність вимірювання	±10%
Робоча температура	від 5 °С до 55 °С
Інтерфейс	Аналоговий
Довжина пробки	60 см

Датчик температури DS18B20 (рис. 2.10) – це цифровий датчик, котрий широко використовується в різноманітних проектах завдяки своїй точності, надійності і простоті у використанні, він вимірює опір напівпровідникового елемента, що залежить від температури за формулою Стейнхарта-Харта (2.1):

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot \ln(R)^3, \quad (2.1)$$

де T – температура;

R – опір датчику;

A, B, C – коефіцієнти що є унікальними для кожного датчика, і використовуються для зчитування з пам'яті різноманітними бібліотеками для точного розрахунку, вони необхідні для компенсації похибок кожних індивідуальних датчиків.

Вимірний опір потім конвертується у цифровий код і передається по інтерфейсу 1-Wire.



Рисунок 2.10 – Датчик DS18B20 у водонепроникному корпусі [19]

Технічні характеристики датчика температури наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7– Технічні характеристики датчику DS18B20

Інтерфейс	1-Wire
Діапазон вимірювання	від -55 °C до +125 °C
Точність вимірювання	±0,5 °C (в діапазоні від -10 °C до +85 °C)
Робочі напруги	від 3,0 В до 5,5 В
Споживання	1 мА (під час роботи), 0.1 мкА (очікування)
Розміри виміру	від 9 до 12 біт
Час перетворення	93,75 мс (9 біт), 187,5 мс (10 біт), 375 мс (11 біт), 750 мс (12 біт)

Даний датчик було обрано в зв'язку з такими факторами:

- висока точність, датчик забезпечує точність $\pm 0,5$ °C це цілком прийнятне значення для більшості можливих вимірювань;
- широкий діапазон вимірювань, котрого достатньо для більшості існуючих ситуацій;
- зручний цифровий інтерфейс 1-Wire, що спрощує його підключення до Arduino Nano;
- низька вартість, це один із найдешевших і найрозповсюджених датчиків;
- надійність, водонепроникний корпус забезпечує надійну безпеку функціонування датчику в більшості середовищ;

Датчик визначення рН – PH4502.

Принцип за яким здійснюється вимірювання цим датчиком заснований на вимірюванні різниці потенціалів між електродом порівняння та вимірювальним електродом.

Зовнішній вигляд плати датчику кислотності, та проби з електродом який можна використовувати необмежену кількість разів зображено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Датчик PH4502 з пробю [25]

Технічні характеристики датчика PH4502 наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики датчику PH4502

Робочий струм	від 5 мА до 10 мА
Діапазон температурного виявлення	від 0 °С до 80 °С
Час відгуку	≤ 5 с
Час стабілізації	≤ 60 с
Робоча температура	від -10 °С до 50 °С
Розмір	42 мм × 32 мм × 20 мм
Робоча напруга	5 В $\pm 0,2$ В
Діапазон	від 0 рН до 14 рН
Лужна похибка	0,2 рН
Внутрішній опір	≤ 250 МОм
Час відгуку	≤ 1 хв

Цей датчик було обрано з огляду на ціну, ефективність, та за відповідністю до робочих температур попередніх датчиків. Також можна виділити надійність електроду, що підтверджується виготовленням із високоякісних матеріалів, котрі можуть забезпечити стабільність і тривалість у використанні датчику.

Для відображення інформації було прийнято рішення обрати OLED дисплей 0,96 дюйма 128 × 64 пікселі (рис. 2.12), в жовто синьому спектрі відображення кольору. На відміну від широко розповсюджених LCD 16 × 2 модулів, на нашому дисплеї можна буде відобразити набагато більше інформації в більш контрастному, та не агресивному спектрі кольорів, та у компактному розмірі.

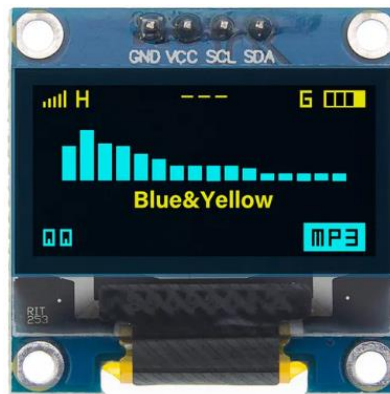


Рисунок 2.12 – OLED дисплей 0,96 дюйма 128 × 64 пікселі [30]

2.3 Розробка схеми підключення компонентів

На безкоштовному онлайн ресурсі Wokwi [31] ми маємо змогу розробити схему макету ПТК. Це середовище дає змогу доступно і легко розробляти прототипи електронних пристроїв. Воно дозволяє без встановлення стороннього програмного забезпечення швидко і якісно розробити структурну схему.

В силу відсутності таких вузько спрямованих датчиків як датчик DTS і рівню рН було встановлено прилади з аналоговими виходами, та після замінено за допомогою стороннього програмного забезпечення на зображення необхідних нам компонентів з коректними контактами. Виходячи з обраних модулів, було

створено схему підключення компонентів системи контролю якості рідини, яка представлена на рисунку 2.13.

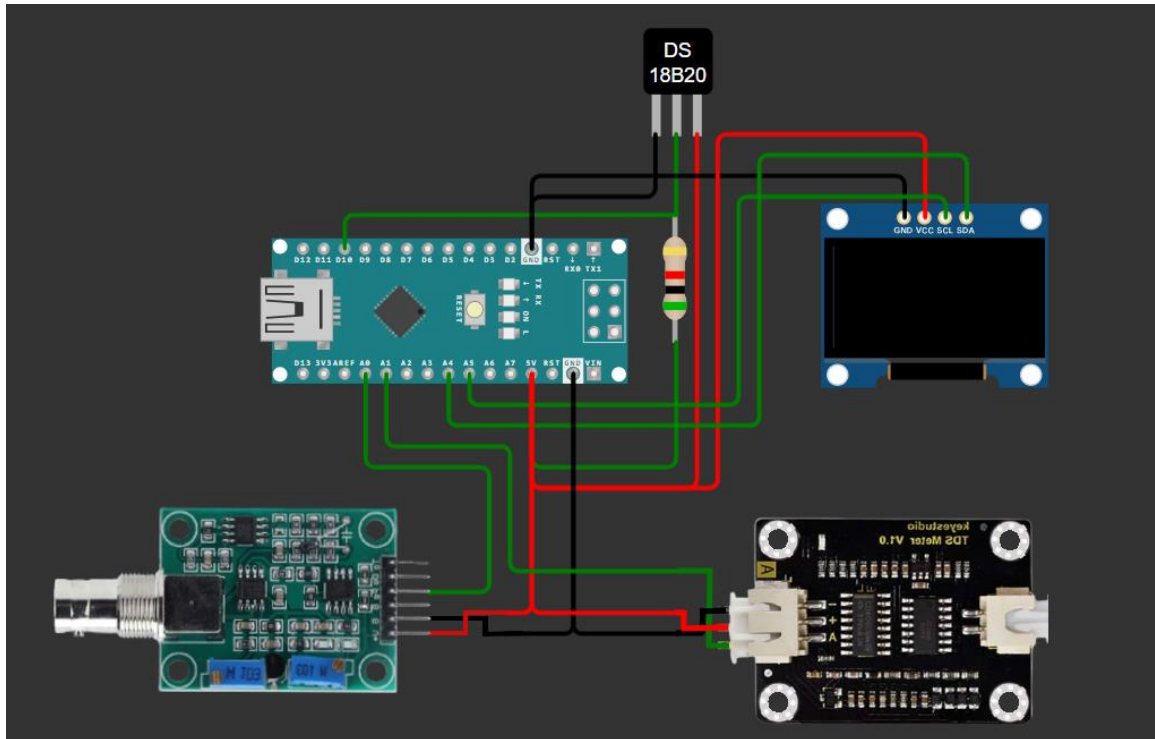


Рисунок 2.13 – Структурна схема макету

На схемі ми підключили піни датчику DS18B20 таким чином, живлення під'єднано до 5 В піну на Arduino Nano, землю підключили, та один цифровий вихід було підключено до піну 10 на Arduino, також було додано 1 підтягуючий резистор 5 кОм для коректної роботи інтерфейсу 1-Wire. Датчик TDS має аналогічну ситуацію щодо підключення в сенсі живлення та заземлення як і датчик DS18B20, але на відміну від нього в нього 1 аналоговий, а не цифровий вихід тому в нашому випадку його було під'єднано до піну A1. Датчик PH4502 має аналогічну ситуацію в сенсі підключення живлення та заземлення, та також має аналоговий вихід котрий було під'єднано до піну A0. OLED дисплей має 4 виходи 1 для живлення 5 В котрий було під'єднано до відповідного піну на Arduino, та заземлено, аналогові виходи SCL та SDA було під'єднано до

аналогових пінів A5 та A4 відповідно, тому що саме ці аналогові піни мають можливість роботи з цими технологіями.

2.4 Висновки до другого розділу

В другому розділі було проведено аналіз існуючих датчиків температури та кислотності і обрано найбільш доречні для використання в майбутньому макеті компоненти.

Проведено вибір компонентної бази для подальшої реалізації проекту, а саме платформу Arduino Nano, OLED дисплей, та три датчики параметрів рідини до яких входять датчик кислотності, датчик TDS та датчик температури.

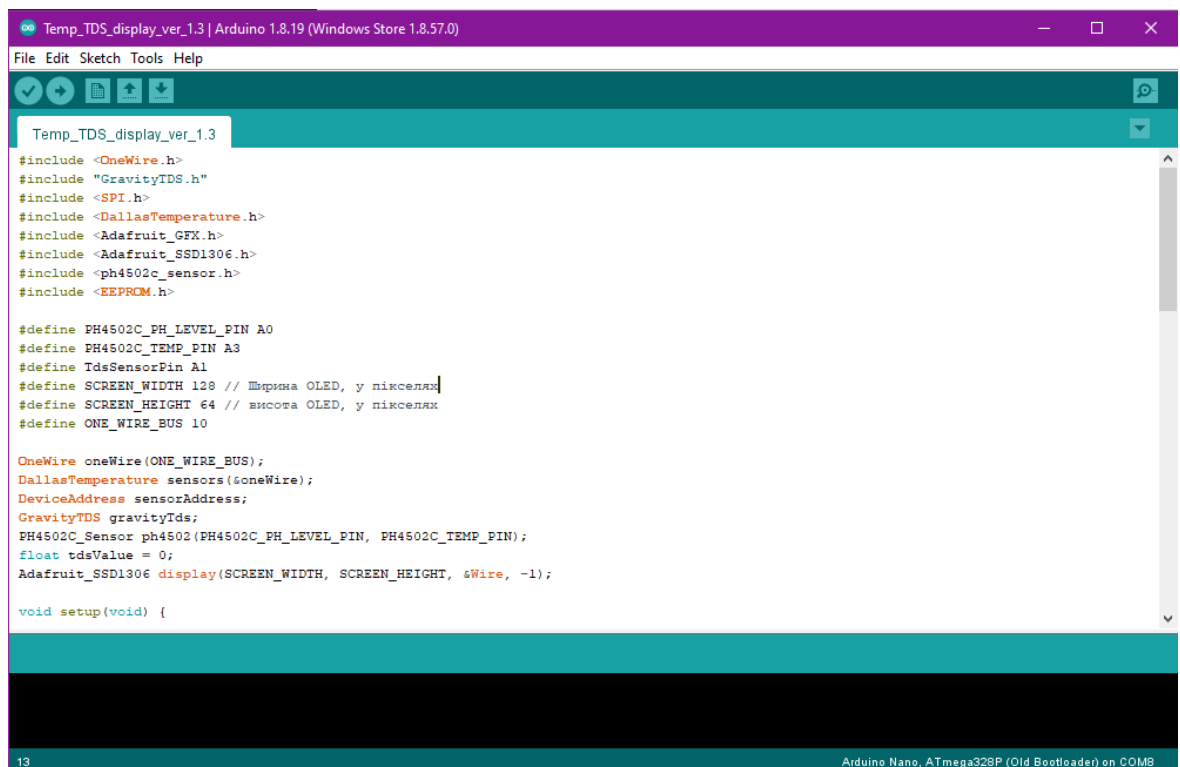
Також було побудовано структурну схему майбутнього макету в середовищі Wokwi, задля перевірки коректності підключення схеми та для подальшої реалізації макету поза теоретичного поля.

В наступному розділі детально опишемо процес розробки програмного забезпечення для роботи схеми, побудуємо макет та експериментально протестуємо його працездатність.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ

3.1 Вибір середовища розробки програмного забезпечення

У нашому макеті одну із ключових ролей гратиме програмований пристрій керування. Саме тому вибір середовища розробки повинен підлягати критеріям зручності та швидкості програмування. Оскільки використовується Arduino Nano, доцільним буде використання Arduino IDE (рис. 3.1).



```
Temp_TDS_display_ver_1.3
#include <OneWire.h>
#include "GravityTDS.h"
#include <SPI.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <ph4502c_sensor.h>
#include <EEPROM.h>

#define PH4502C_PH_LEVEL_PIN A0
#define PH4502C_TEMP_PIN A3
#define TdsSensorPin A1
#define SCREEN_WIDTH 128 // Ширина OLED, у пікселях
#define SCREEN_HEIGHT 64 // висота OLED, у пікселях
#define ONE_WIRE_BUS 10

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensorAddress;
GravityTDS gravityTds;
PH4502C_Sensor ph4502(PH4502C_PH_LEVEL_PIN, PH4502C_TEMP_PIN);
float tdsValue = 0;
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

void setup(void) {
```

Рисунок 3.1 – Середовище розробки Arduino IDE

Arduino IDE – це програмне забезпечення яке забезпечує користувача можливістю створення програм (скетчів) для платформи Arduino [32].

Мовою програмування Arduino є стандартний C++, що виконується на компіляторі AVR-GCC. Яка містить в собі деякі зміни які направлені на

полегшення роботи новачкам у цій справі.

Переваги Arduino IDE:

- зручність і простота інтерфейсу;
- середовище розробки легке у встановленні на багатьох ОС;
- наявність всіх інструментів для виконання поставлених у роботі задач;
- система прикладів скетчів, які полегшують розуміння роботи функцій;
- зручна система роботи компіляції, збереження, та поширення коду;
- наявність серійного монітору;
- велика кількість користувачів надає простір для навчання і впливає на великий об'єм користувацьких бібліотек які можуть полегшити роботу з кодом;
- доступність, це програмне забезпечення є безкоштовним для кожного.

3.2 Побудова алгоритму роботи пристрою

Макет пристрою містить програмований контролер, отже необхідно розробити алгоритм керування для цього контролера, а також пристроїв що підключені до нього. Для створення візуального алгоритму роботи було використано візуальний редактор блок-схем diagrams.net [33].

Інтерфейс візуального редактора зображено на рисунку 3.2.

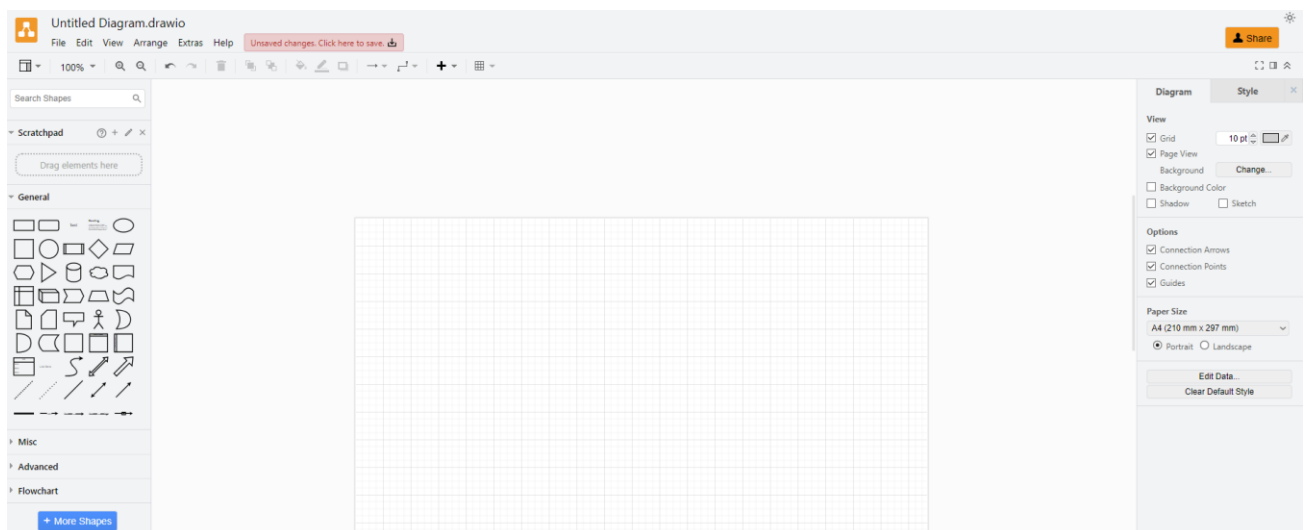


Рисунок 3.2 – Інтерфейс візуального редактора diagrams.net

Розроблений алгоритм зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи макету системи контролю якості рідини

3.3 Розробка програмного забезпечення

На початку роботи програми необхідно підключити сторонні бібліотеки, що допоможуть нам використовувати все апаратне забезпечення легко і ефективно. Підключені бібліотеки зображено на рисунку 3.4.

```
#include <OneWire.h>
#include "GravityTDS.h"
#include <SPI.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <ph4502c_sensor.h>
#include <EEPROM.h>
```

Рисунок 3.4 – Перелік задіяних в роботі програми бібліотек

Призначення зазначених бібліотек наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Функції використаних бібліотек

Бібліотека	Призначення
OneWire.h [33]	Доступ до 1 каналних сенсорів
GravityTDS.h [34]	Робота із датчиком TDS
SPI.h [35]	Забезпечує комунікацію з SPI приладами
DallasTemperature.h [36]	Конвертація аналогових сигналів з датчику температури
Adafruit_GFX.h [37]	Бібліотека для роботи з дисплеями
Adafruit_SSD1306.h [38]	Пов'язана з попередньою, визначає специфікацію моделі дисплею з яким буде виконуватися робота
Ph4502c_sensor.h [39]	Робота із датчиком PH4502C
EEPROM.h [40]	Бібліотека для роботи з пам'яттю

Після підключення бібліотек визначаються пін до яких підключено сенсори та розміри дисплею, для коректної роботи бібліотек (рис. 3.5).

```
#define PH4502C_PH_LEVEL_PIN A0
#define PH4502C_TEMP_PIN A3
#define TdsSensorPin A1
#define SCREEN_WIDTH 128 // Ширина OLED, у пікселях
#define SCREEN_HEIGHT 64 // висота OLED, у пікселях
#define ONE_WIRE_BUS 10
```

Рисунок 3.5 – Визначення пінів та розмірів дисплею

Наступним кроком після призначення пінів, виконується оголошення глобальних змінних (рис. 3.6).

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensorAddress;
GravityTDS gravityTds;
PH4502C_Sensor ph4502(PH4502C_PH_LEVEL_PIN, PH4502C_TEMP_PIN);
float tdsValue = 0;
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
```

Рисунок 3.6 – Глобальні змінні

Далі йде опис функції `setup`, в котрій виконуються першочергові, зазвичай команди для налаштування, що забезпечують коректну роботу наступних функцій (рис. 3.7). До них входить встановлення опорної напруги, діапазон бітів роботи TDS датчику, його ініціалізація та ініціалізація датчику рН, Ініціалізація роботи серійного монітору, налаштування для роботи дисплею, та виведення незмінної лінії на ньому, що ідентифікує призначення приладу.

```

void setup(void) {
  sensors.setResolution(sensorAddress, 12);
  sensors.begin();
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0); // Опорна напруга на ADC, для нано це 5В
  gravityTds.setAdcRange(1024); // 1024 для 10-бітної ADC;
  gravityTds.begin(); // Ініціалізація TDS
  ph4502.init(); // Ініціалізація pH
  Serial.begin(115200);
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Адреса I2C - 0x3C для дисплеїв з розмірами 128x64
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for(;;); // Перевірка не пройдена, і код завмере тут
  }
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(0,0);
  display.println("Liquid quality \n measurements device");
  display.display();
}

```

Рисунок 3.7 – Наповнення функції setup

В наступній, основній і, водночас, останній функції, наведено код для визначення параметрів рідини, котрі подаються до Arduino у вигляді цифрових сигналів з 1-wire (датчик температури) та аналогових сигналів від двох останніх датчиків, їх адаптація у зрозумілі параметри, та відображення цієї інформації на наш дисплей, що динамічно змінюється кожні пів секунди (рис. 3.8).

```

void loop(void) {
  sensors.requestTemperatures(); // Команда запити температури
  float tempC = sensors.getTempCByIndex(0);
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.println(tempC,1);
  gravityTds.setTemperature(tempC);
  gravityTds.update();
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue();
  Serial.print("TDS: ");
  Serial.print(tdsValue,0);
  Serial.println("ppm");
  Serial.println("pH Level Reading: " + String(ph4502.read_ph_level()));
  Serial.print("\n");
  display.setCursor(0,21);
  display.println("Temperature: " + String(tempC,1) + " C");
  display.display();
  display.setCursor(0,29);
  display.println("TDS: " + String(tdsValue,0) + " ppm");
  display.display();
  display.setCursor(1,37);
  display.println("pH: " + String(ph4502.read_ph_level(),1)+ " ");
  display.display();
  delay(500);
  display.fillRect(0, 21, display.width(), 8, SSD1306_BLACK);
  display.fillRect(0, 29, display.width(), 8, SSD1306_BLACK);
  display.fillRect(1, 37, display.width(), 8, SSD1306_BLACK);
}

```

Рисунок 3.8– Наповнення функції loop

Цей, доволі простий, та не важкий в програмному сенсі скетч, дозволить вести безперервний моніторинг заданих параметрів рідини.

3.4 Розробка макету СКЯР

Вся схема може бути розташована на двосторонній друкованій платі розмірами 30 мм × 70 мм (рис. 3.9).

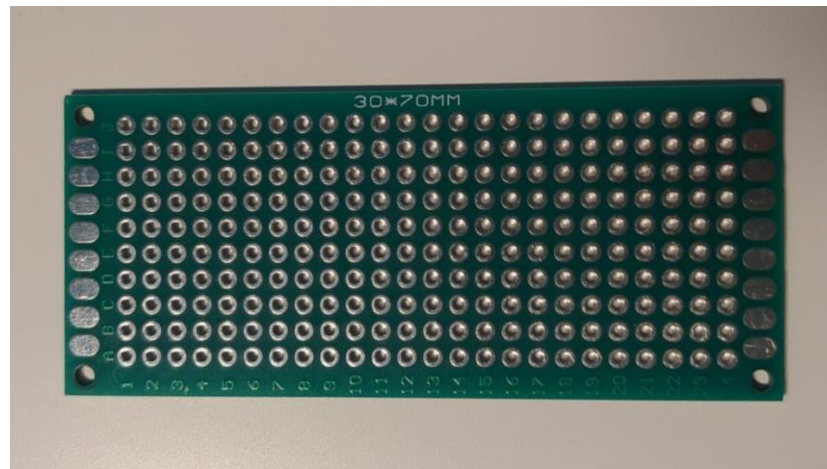


Рисунок 3.9 – Друкована плата 30 мм × 70 мм

Всі компоненти схеми можна доречно вмістити на даній друкованій платі, з однієї сторони буде розташовано Arduino Nano та всі 3 датчики, і конектори дисплею, а з іншої сам дисплей та конектори датчиків, що приєднані до мікроконтролеру, більшість з них знаходяться безпосередньо під дисплеєм.

Зовнішній вигляд передньої частини макету з припаяними дротами що з'єднують датчики та контролер Arduino Nano, і на якій розташовано дисплей наведено на рисунку 3.10.

А зовнішній вигляд задньої частини макету на якій розташовані датчики та Arduino, і чотири дроти для зв'язку дисплею з Arduino наведено на рисунку 3.11.

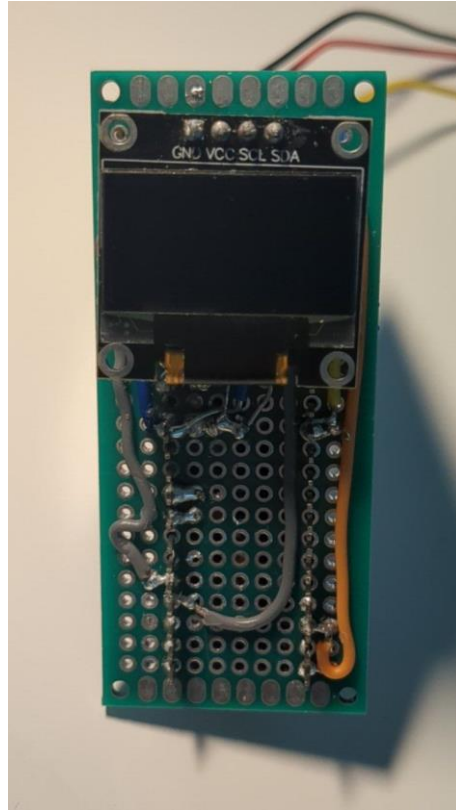


Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд передньої частини макету

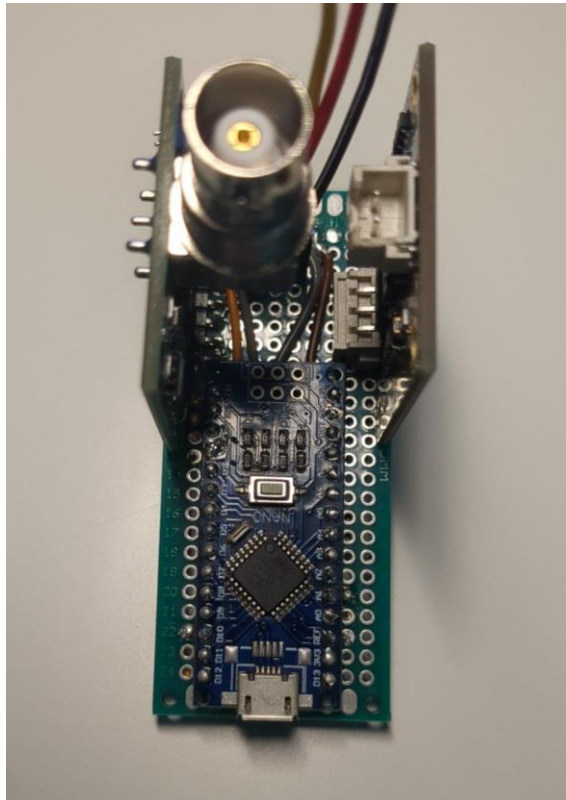


Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд задньої частини макету

3.5 Експериментальна перевірка працездатності макету СКЯР

Перевірку працездатності макету буде доцільно зробити на максимально великій кількості тестових рідин, щоб максимально поглиблено дослідити залежність змін всіх параметрів і їх коректне відображення на дисплеї безпосередньо.

Для експериментальної частини було обрано такий список рідин:

- 200 мл води з під крану;
- 200 мл дистильованої води;
- 200 мл дистильованої води з додаванням 40 мл концентрованої лимонної кислоти;
- 200 мл пастеризованого молока;
- 100 мл соняшникової олії.

Для коректності відображених даних, особливо це стосується датчику кислотності, необхідно промивати проби в дистильованій воді. Це також допомагає збільшити строк служби цих датчиків.

Вимірювання потребує спеціальної черги завантаження зондів, так як існує конфліктність датчику TDS та датчику кислотності, їх принцип роботи залежить в надсиланні сигналів з різною напругою і так як більшість рідин є кондуктивними, вони можуть впливати на результат вимірювання одне одного. Тому спочатку необхідно занурювати проби датчиків температури та TDS, так як в них немає необхідності тримати їх занадто довго в середовищі вимірювання. А після цього вже занурюється проба датчику кислотності, він потребує деякого часу для стабілізації результатів, зазвичай це одна хвилина.

Також для більш коректного відображення рекомендується не торкатися пробамі стінок посудини в якій знаходиться вимірювана рідина.

Результати вимірювання параметрів що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл води з під крану, наведені на рисунку 3.12.

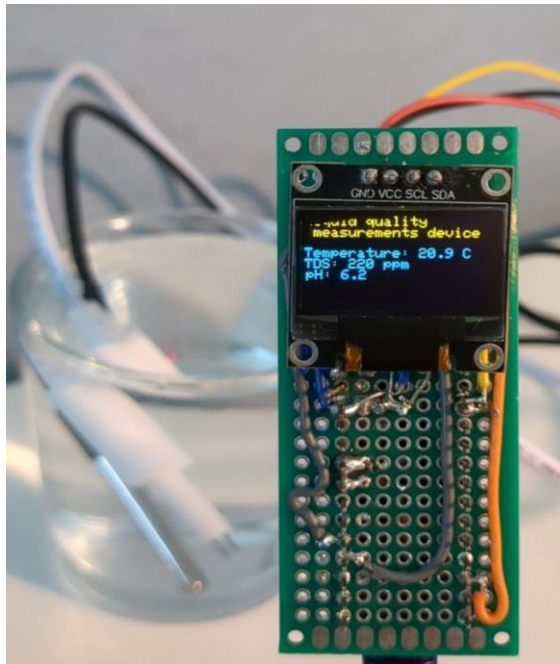


Рисунок 3.12 – Результат вимірювання у воді з під крану

Результати вимірювання кислотності що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл води з під крану, наведені на рисунку 3.13.

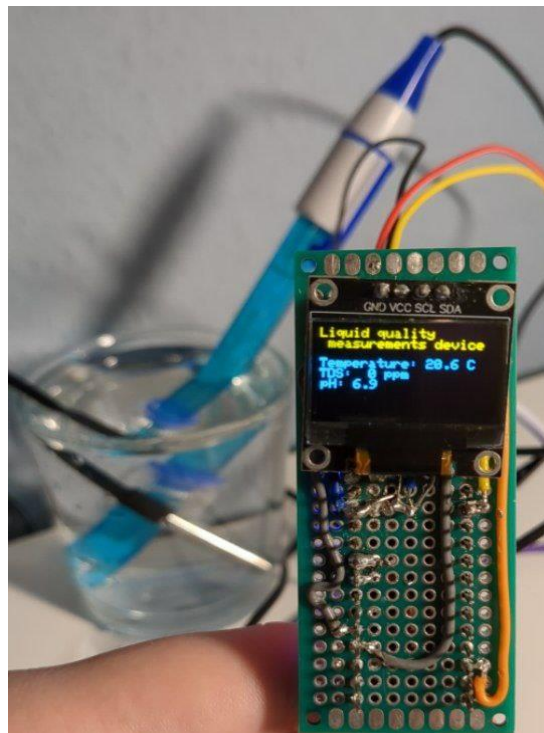


Рисунок 3.13 – Результат вимірювання кислотності у воді з під крану

Результати вимірювання параметрів що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл дистильованої води, наведені на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – Результат вимірювання у дистильованій воді

Результати вимірювання кислотності що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл дистильованої води, наведені на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Результат вимірювання кислотності у дистильованій воді

Результати вимірювання параметрів що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл дистильованої води з додаванням 40 мл концентрованої лимонної кислоти, наведені на рисунку 3.16.

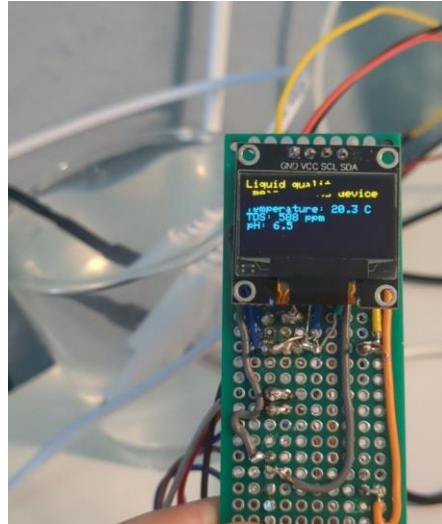


Рисунок 3.16 – Результат вимірювання параметрів у дистильованій воді з додаванням лимонної кислоти

Результати вимірювання кислотності що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл дистильованої води з додаванням 40 мл концентрованої лимонної кислоти, наведені на рисунку 3.17.

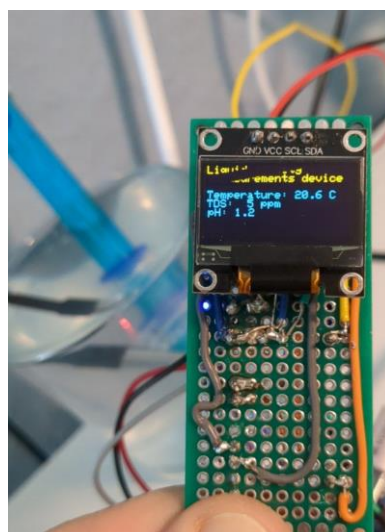


Рисунок 3.17 – Результат вимірювання кислотності у дистильованій воді з додаванням лимонної кислоти

Результати вимірювання параметрів що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл пастеризованого молока, наведені на рисунку 3.18.

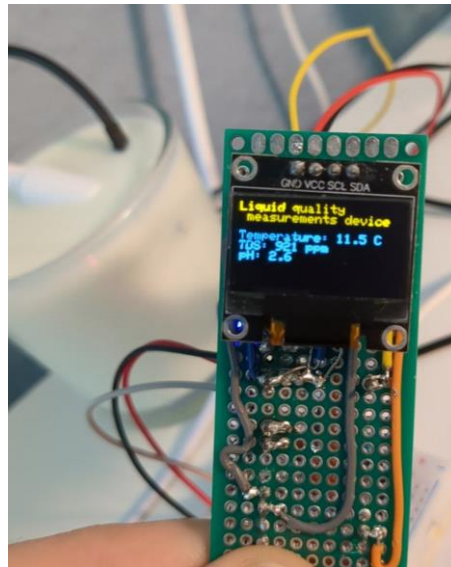


Рисунок 3.18 – Результат вимірювання параметрів молока

Результати вимірювання кислотності що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 200 мл пастеризованого молока, наведені на рисунку 3.19.

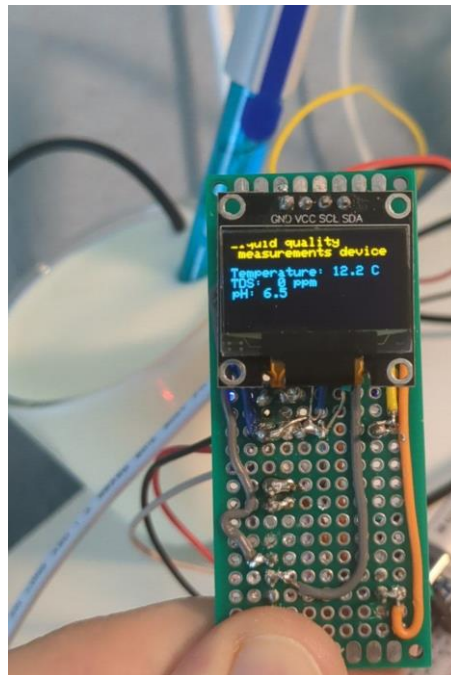


Рисунок 3.19 – Результат вимірювання кислотності молока

Результати вимірювання параметрів що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 100 мл соняшникової олії, наведені на рисунку 3.20.

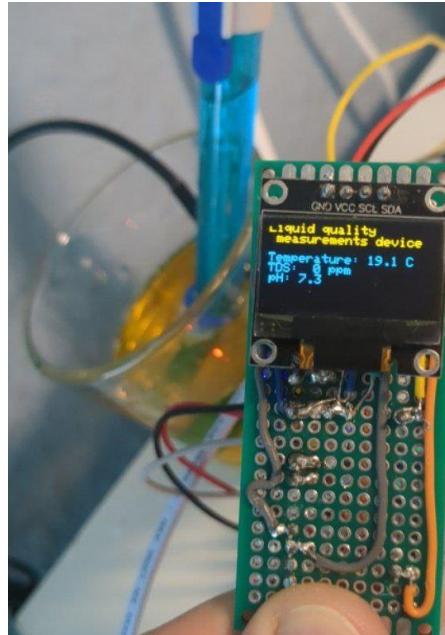


Рисунок 3.20 – Результат вимірювання параметрів олії

Результати вимірювання кислотності що відображаються на дисплеї у випадку занурення у 100 мл соняшникової олії, наведені на рисунку 3.21.

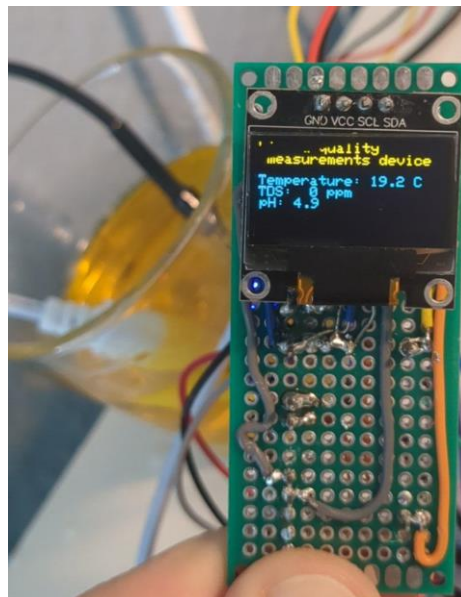


Рисунок 3.21 – Результат вимірювання кислотності олії

Можна зробити цікаве спостереження того як наочно змінюється температура при тестуванні молока, тому що воно було взято зі зберігання у холодильнику, також цікавий показник TDS у молока і звичайної питної води, але це закономірно, адже в них є велика кількість розчинених речовин на відміну від дистильованої води, саме тому вона і використовується як засіб змиву залишків інших речовин з датчиків, щоб запобігти вплив цих залишків на майбутні вимірювання.

Можна зробити висновок що вода і молоко у цих експериментах придатні до пиття і підлягають стандартам для вживання для цих речовин.

Також цікавим спостереженням є те що в олії нульовий показник TDS, якщо згадати принцип роботи цього датчику, то можна зробити висновок що ця рідина не є кондуктивною.

Всі результати експериментів було занесено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментів

Речовина	Температура, °C	TDS, ppm	Кислотність, pH
Вода	20,9	220	6,9
Дистильована вода	20,8	5	6,7
Дистильована вода з додаванням концентрованої лимонної кислоти	20,3	588	1,2
Молоко пастеризоване	11,5	921	6,6
Соняшникова Олія	19,1	0	4,9

3.6 Дослідження стійкості АСУ за алгебраїчними критеріями

Стійкість системи є однією з найважливіших умов якій повинна відповідати АСУ. На систему діють зовнішні сили, вони можуть призвести до її збудження або ж шкоди в нормальному стані. Необхідно дослідити чи здатна система повернутися до рівноваги.

До алгебраїчних способів розрахунку стійкості АСУ відноситься критерій Гурвіца. Спочатку, необхідно побудувати визначник, що являє собою матрицю, коефіцієнти якої розташовують в порядку по діагоналі. Кожен рядок заповнюється по порядку або ж парними або непарними коефіцієнтами. Всі елементи з негативними індексами та більшими за останній змінюються на нулі.

В нашому випадку, розглянемо передатну функцію, яка відповідає контуру системи в якій знаходяться датчики:

$$W(s)_{\text{роз}} = \frac{0,3339475s^2 + 10,0124555s + 48400,40}{0,001560650s^2 + 0,0565631 + 48400}. \quad (3.1)$$

Додаємо змінну для роз'єднаної системи, значення підсилення, та передатну функцію виконавчого пристрою та скрипту середовища Matlab. Результат наведено на рисунку 3.22.

```
>> Wgain = 0.1;
>> Wr = tf([0.3339475 10.124555 48400], [0.001560650 0.0565631 48400]);
>> Wa = tf([0 1], [0 1 2]);
>> |
```

Рисунок 3.22 – задані данні в скрипті Matlab

В нашому випадку замкнута система має паралельне підключення, усі елементи було додано (Рис. 3.23).

```

Wz =

    0.3341 s^3 + 10.8 s^2 + 5.326e04 s + 154880
-----
    0.001561 s^3 + 0.05968 s^2 + 4.84e04 s + 96800

Continuous-time transfer function.
Model Properties
>> Wfb = (Wr + Wgain + Wa) / (1 + Wr + Wgain + Wa)

Wfb =

    0.0005214 s^6 + 0.0368 s^5 + 1.625e04 s^4 + 5.585e05 s^3 + 2.579e09 s^2 + 1.265e10 s + 1.499e10
-----
    0.0005239 s^6 + 0.03698 s^5 + 1.641e04 s^4 + 5.646e05 s^3 + 4.921e09 s^2 + 2.202e10 s + 2.436e10

Continuous-time transfer function.

```

Рисунок 3.23 – Передатна функція для замкненої системи зі зворотнім та без зворотнього зв'язку

Проведемо оцінку стійкості за коренями характеристичного рівняння:

$$0,0005239 \cdot \lambda^6 + 0,03698 \cdot \lambda^5 + 1,641e04 \cdot \lambda^4 + 5,64e05 \cdot \lambda^3 + 4,921e09 \cdot \lambda^2 + 2,202e10 \cdot \lambda + 2,436e10. \quad (3.2)$$

Так як усі коефіцієнти характеристичного рівняння одного знаку, умова стійкості виконується.

Для продовження оцінки стійкості системи за критерієм Гурвіца, нам необхідно визначити визначник. Наведемо матрицю визначників Гурвіца на рисунку 3.24.

```

>> delt = det ([a1 a3 a5 0 0 0;
                a0 a2 a4 a6 0 0;
                0 a1 a3 a5 0 0;
                0 a0 a2 a4 a6 0;
                0 0 a1 a3 a5 0;
                0 0 a0 a2 a4 a6])

```

Рисунок 3.24 – Визначник Гурвіца

Під час проведення розрахунків, було визначено такі значення мінорів: $\Delta_1 = 0,0369 > 0$; $\Delta_2 = 311,73 > 0$; $\Delta_3 = 1,63e13 > 0$; $\Delta_4 = 3,97e23 > 0$. Необхідна умова виконується, що і доводить стійкість системи.

3.7 Охорона праці

Виконання розділу було виконано згідно методичних вказівок [41].

Роботи що виконуються в кваліфікаційній роботі відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи.

В приміщенні використовується сумісне освітлення: природне та штучне. Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 [42] категорія зорових робіт, що проводяться у приміщенні – III В. Нормативні значення штучного освітлення $E=200-500$ лк, природного – КПО = 1,2 %. Штучне освітлення виконано як загальне, за допомогою світильників з люмінесцентними лампами.

Так як домінуючим шкідливим фактором є пари свинцю зробимо розрахунок повітрообміну в робочому приміщенні.

В лабораторних умовах найбільш доцільним буде встановити припливно-витяжну загальнообмінну вентиляцію.

У лабораторії об'ємом $V=125,55$ м³ проводиться паяння та лудіння м'яким припоєм ПОС- 40 (до його складу входить р - 40% свинцю). За 1 годину роботи витрачається $t = 105$ мг припою. Кількість припою що випарюється $q = 0,3$ %. Число працюючих $n = 1$ особа. Визначити необхідний повітрообмін.

Гранично допустима концентрація свинцю в повітрі робочої зони: ПДКРЬ = 0,01 мг / м³.

За формулою (3.1) визначаємо кількість свинцю, що випарується за 1 годину роботи:

$$W = p \cdot t \cdot q, \quad (3.1)$$

де p – кількість вмісту свинцю у припої;
 m – кількість припою, що витрачається за 1 годину;
 q – кількість припою, випаровується.

$$W = 0.4 \cdot 105 \cdot 0,003 = 0,125 \text{ мг/г.} \quad (3.2)$$

За формулою (3.3) визначаємо кількість повітря, яке потрібно подати в робочу зону для того, щоб концентрація свинцю в робочому обсязі не перевищувала значень ГДК

$$G = \frac{W}{C_{\text{ГДК}}}, \quad (3.3)$$

де W – кількість свинцю, яка випаровується за 1 годину роботи;
 $C_{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація свинцю, що випаровується за 1 годину роботи:

$$G = \frac{0,126}{0,01} = 12,6. \quad (3.4)$$

За формулою (3.5) визначаємо кількість повітря, яке потрібно подати в робочу зону для того, щоб забезпечити необхідну кількість повітря для 1 працюючого:

$$G_1 = n \cdot G_{\text{люд}}, \quad (3.5)$$

де $G_{\text{люд}}$ – норма подачі припливного повітря на 1 людину ($G_{\text{люд}} = 60 \text{ м}^3/\text{год}$);
 n – число працюючих у приміщенні.

$$G_1 = 1 \cdot 60 = 60 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.6)$$

Порівнюючи норми подачі G і G_1 для подальших розрахунків приймаємо більше значення, тобто значення G_1 .

За формулою (3.7) знаходимо кратність повітрообміну:

$$k = \frac{G_1}{V}, \quad (3.7)$$

де V – об'єм приміщення.

$$k = \frac{60}{125,55} = 0,48 \text{ год}^{-1}. \quad (3.8)$$

За 1 годину повітря в приміщенні повинен обмінюватися 3 рази.

3.8 Висновки до третього розділу

Під час виконання третього розділу було досліджено середовище розробки програмного забезпечення Arduino IDE, було досліджено засоби роботи з мікроконтролером Arduino Nano, знайдено і досліджено бібліотеки котрі дозволяють полегшити взаємодію між датчиками та Arduino.

Також було розроблено ПЗ з урахуванням усіх особливостей макету, з калібруванням датчиків, та використано раніше зазначені бібліотеки для роботи з обладнанням.

Після розробки ПЗ було зібрано готовий макет на друкованій платі.

Провели широкий аналіз роботи макету в різних рідинах, і упевнилися в його працездатності і точності його вимірювань.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи є автоматизація процесів контролю якості різних рідин за рахунок розроблення портативного модулю на базі Arduino, для досягнення заданої мети було виконано наступні завдання:

- проаналізовано параметри доступні для аналізу в рідині;
- проаналізовано існуючі аналогічні пристрої для контролю якості рідини;
- розроблено структурну схему макету;
- розроблено програмне забезпечення для керування макетом;
- розроблено макет системи автоматизації якості рідини;
- проведено експериментальне тестування працездатності пристрою.

В першому розділі роботи було проведено аналіз існуючих параметрів для вимірювання в рідині, розкрито визначення поняття рідини для подальшого аналізу, та було розглянуто існуючі аналоги пристроїв які спрямовані на контроль якості рідини, задля подальшої реалізації проекту з розумінням існуючої проблематики, та можливостей для реалізації в подальшому проекті.

На основі проведеного аналізу було визначено необхідність створення компактного, портативного, фінансово доступного, і більш загально спрямованого пристрою без додаткових зовнішніх хімічних реагентів для аналізу якості рідини для використання як в польових так і в більш побутових, статичних цілях.

В другому розділі було проведено аналіз існуючих датчиків температури та кислотності і обрано найбільш доречні для використання в майбутньому макеті компоненти.

Проведено вибір компонентної бази для подальшої реалізації проекту, а саме платформу Arduino Nano, OLED дисплей, та три датчики параметрів рідини до яких входять датчик кислотності, датчик TDS та датчик температури.

Також було побудовано структурну схему майбутнього макету в середовищі Wokwi, задля перевірки коректності підключення схеми та для подальшої реалізації макету поза теоретичного поля.

Під час виконання третього розділу було досліджено середовище розробки програмного забезпечення Arduino IDE, було досліджено засоби роботи з мікроконтролером Arduino Nano, знайдено і досліджено бібліотеки котрі дозволяють полегшити взаємодію між датчиками та Arduino.

Також було розроблено ПЗ з урахуванням усіх особливостей макету, з калібруванням датчиків, та використано раніше зазначені бібліотеки для роботи з обладнанням.

Після розробки ПЗ було зібрано готовий макет на друкованій платі.

Було проведено широкий аналіз роботи макету в різних рідинах, що дало упевнитися в його працездатності і точності вимірювань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарєва, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. - 66 с.
3. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf.
4. Невлюдов І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарєва, Г.В. Пономарьова. К.: пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 245 с.
5. What is Liquid? / Henderson et al. Condensed Matter Physics. 2015. Vol. 18, no. 1. P. 10101. [Електронний ресурс]– Режим доступу: [www/URL](http://www.URL) <https://doi.org/10.5488/cmp.18.10101> (дата звернення: 05.05.2024).
6. Westcott C. C. pH measurements. New York : Academic Press, 1978. 172 p.
7. Organization W. H. Guidelines for drinking-water quality. 3rd ed. Geneva : World Health Organization, 2008. 494 p.
8. Methods 2540 / B. H. Wilder et al. Standard methods committee.
9. Salinity and total dissolved solids measurements for natural waters: An overview and a new salinity method based on specific conductance and water type / R. B. McCleskey et al. Applied Geochemistry. 2023. Vol. 154. P. 105684. [Електронний

ресурс]/– Режим доступа: www/URL
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2023.105684> (дата звернення: 05.05.2024).

10. Adjovu G. E., Stephen H., Ahmad S. Spatial and Temporal Dynamics of Key Water Quality Parameters in a Thermal Stratified Lake Ecosystem: The Case Study of Lake Mead. *Earth*. 2023. Vol. 4, no. 3. P. 461–502. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL <https://doi.org/10.3390/earth4030025> (дата звернення: 05.05.2024).

11. Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids - Environmental Measurement Systems. *Environmental Measurement Systems*. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/> (дата звернення: 05.05.2024).

12. Hayden L., Wood J., Hassell S. Water-Quality Assessment of the Pasquotank River Watershed; Analysis of Dissolved Oxygen, pH, Salt, Total Dissolved Solids, and Conductivity. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL <http://nia.ecsu.edu/ureomps2011/teams/ptank/PQT%20IEEE%20PAPER.pdf> (дата звернення: 05.05.2024).

13. Butler B. A., Ford R. G. Evaluating Relationships Between Total Dissolved Solids (TDS) and Total Suspended Solids (TSS) in a Mining-Influenced Watershed. *Mine Water and the Environment*. 2017. Vol. 37, no. 1. P. 18–30. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL <https://doi.org/10.1007/s10230-017-0484-y> (дата звернення: 05.05.2024).

14. Temperature Sensors: Types, How It Works, & Applications - Encardio Rite. Encardio Rite. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL <https://www.encardio.com/blog/temperature-sensor-probe-types-how-it-works-applications> (дата звернення: 08.05.2024).

15. Horiba LAQUA WQ330-K - 3 channel professional measuring device for various parameters in analysis case | 895752. Neyl Neomeris Shop. [Електронний ресурс]/– Режим доступа: www/URL

<https://www.pockettester.com/detail/b3d044ed054b4d43bcb764ef402cf0e4> (дата звернення: 08.05.2024).

16. DIERI 6 in 1 Digital Dissolved Oxygen Tester Water Quality Detector pH Temperature Ammonia Nitrogen Toxic Ammonia Nitrite, Dissolved Oxygen Meter | Amazon. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL <https://www.amazon.de/DIERI-Sauerstoff-Wasserqualitätsdetektor-Temperatur-Stickstoff/dp/B0CRRQNNFT> (дата звернення: 08.05.2024).

17. TuYa WiFi 8 In 1 Water Quality Detector S.G/PH/EC/ORP/TDS/CF/SALT/TEMP Measuring Analyzer Water Monitor Water Quality Tester | AliExpress. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL <https://www.aliexpress.com/item/1005006584742335.html> (дата звернення: 08.05.2024).

18. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Mixed-signal and digital signal processing ICs | Analog Devices | Maxim Integrated. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf> (дата звернення: 08.05.2024).

19. Tzt ds1820 Пакет з нержавіючої сталі водонепроникний DS18B20 Датчик температури Датчик температури 18b20 для Arduino | AliExpress. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL <https://www.aliexpress.com/item/1005006407886356.html> (дата звернення: 08.05.2024).

20. 2 метра PT100 датчик платиновий водонепроникний +200 °C клас А - [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL <https://www.mouser.de/new/sparkfun/sparkfun-pt100-sensor/> (дата звернення: 08.05.2024).

21. Термопара K-type М6 скловолокно 2м пружин. (датчик температури) RadioStore.ua. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: www/URL

<https://radiostore.ua/products/datchik-temperature-termopara-k-type-m6-steklovolokno-2m-pruzhin> (дата звернення: 08.05.2024).

22. 1-Wire Industrial Premium Temperature Sensor Pro Waterproof, cable sensor with M12 connector. | ESERA Automation, ESERA GmbH. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://esera.de/en/Produkte/11106-M12/1-Wire-Industrial-Premium-Temperature-Sensor-Pro-Waterproof-cable-sensor-with-M12-connector](https://esera.de/en/Produkte/11106-M12/1-Wire-Industrial-Premium-Temperature-Sensor-Pro-Waterproof-cable-sensor-with-M12-connector) (дата звернення: 08.05.2024).

23. MAX6675 K-type Thermocouple Temperature Sensor Temperature 0-800 Degrees Module. | AliExpress. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.aliexpress.com/item/1005004139060707.html](https://www.aliexpress.com/item/1005004139060707.html) (дата звернення: 08.05.2024).

24. MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Mixed-signal and digital signal processing ICs | Analog Devices | Maxim Integrated. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX6675.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX6675.pdf) (дата звернення: 08.05.2024).

25. Liquid PH 0-14 Value Detection Regulator Sensor Module Monitoring Control Meter Tester + BNC PH Electrode Probe. | AliExpress. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.aliexpress.com/item/1005004359552599.html](https://www.aliexpress.com/item/1005004359552599.html) (дата звернення: 08.05.2024).

26. DFRobot Gravity – pH analog sensor/meter. | BOTLAND. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://botland.store/gravity-temperature-sensors/5874-dfrobot-gravity-ph-analog-sensormeter-6959420908356.html](https://botland.store/gravity-temperature-sensors/5874-dfrobot-gravity-ph-analog-sensormeter-6959420908356.html) (дата звернення: 08.05.2024).

27. Rouse M. What Does Bayonet Neill-Concelman Connector Mean?. Technopedia. 2016. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.techopedia.com/definition/727/bayonet-neill-concelman-connector-bncconnector](https://www.techopedia.com/definition/727/bayonet-neill-concelman-connector-bncconnector) (дата звернення: 08.05.2024).

28. Mini / Type-C / Micro USB Nano 3.0 With the bootloader compatible Nano controller for Arduino CH340 USB driver 16Mhz ATMEGA328P | AliExpress. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.aliexpress.com/item/1005006053215107.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.207.21ef1802h6y5Wg](https://www.aliexpress.com/item/1005006053215107.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.207.21ef1802h6y5Wg) (дата звернення: 31.05.2024).

29. TZT TDS Sensor Meter V1.0 Board Module Water Meter Filter Measuring Water Quality For Arduino UNO R3 | AliExpress. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.aliexpress.com/item/1005006431751837.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.318.33111802nMyRa1](https://www.aliexpress.com/item/1005006431751837.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.318.33111802nMyRa1) (дата звернення: 31.05.2024).

30. 0.96 Inch OLED SSD1306 White/Blue/Yellow 128X64 IIC I2C Serial Display Module 12864 LCD Screen Board For Arduino | AliExpress. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.aliexpress.com/item/1005005970901119.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.204.33111802nMyRa1](https://www.aliexpress.com/item/1005005970901119.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.204.33111802nMyRa1) (дата звернення: 31.05.2024).

31. Wokwi - Online ESP32, STM32, Arduino Simulator. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://wokwi.com](https://wokwi.com) (дата звернення: 31.05.2024).

32. Software | Arduino [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.arduino.cc/en/software](https://www.arduino.cc/en/software) (дата звернення: 05.06.2024).

33. OneWire. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/onewire/](https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/onewire/) (дата звернення: 08.06.2024).

34. GravityTDS. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://github.com/DFRobot/GravityTDS](https://github.com/DFRobot/GravityTDS) (дата звернення: 08.06.2024).

35. SPI. [Электронный ресурс]/– Режим доступа: [www/URL https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/spi/](https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/spi/) (дата звернення: 08.06.2024).

36. DallasTemperature. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/dallastemperature/](http://www.arduino.cc/reference/en/libraries/dallastemperature/) (дата звернення: 08.06.2024).

37. Adafruit-GFX-Library. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library](https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library) (дата звернення: 08.06.2024).

38. Adafruit SSD1306. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/adafruit-ssd1306/](https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/adafruit-ssd1306/) (дата звернення: 08.06.2024).

39. PH4502C-Sensor. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://github.com/nthnn/PH4502C-Sensor](https://github.com/nthnn/PH4502C-Sensor) (дата звернення: 08.06.2024).

40. EEPROMLibrary. [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/eeprom/](https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/eeprom/) (дата звернення: 08.06.2024).

41. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. 28 с.

42. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]/– Режим доступу: [www/URL https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/12/95.3.-DBN-V.2.5-28-2006.-Zmina-N2.-Prirodneishtuchne-osv.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/12/95.3.-DBN-V.2.5-28-2006.-Zmina-N2.-Prirodneishtuchne-osv.pdf) (дата звернення: 10.06.2024).