

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
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 система вимірювання показника *pH***
для контролю якості косметичних засобів

Виконала: студентка 4 курсу, групи МТ-5

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Бойко Діана Русланівна

Керівник: дтн, професор, заф. кафедри
ІВТ Подчашинський Ю.О.

Рецензент: _____

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 метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 22 » квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент Бойко Діана Русланівна

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання показника рН для контролю якості косметичних засобів

Керівник роботи: дтн, професор, Подчашинський Ю.О.

затверджена наказом по університету від « 22 » квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 15 » червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт управління – комп'ютеризована система вимірювання, параметр вимірювання – показник рН, діапазон 0-14 рН, абсолютна похибка 0.099, відносна похибка 1,45%

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз методів вимірювання рН показника, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка друкованої плати, блок-схема алгоритму та програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик, оцінка показників надійності роботи, охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень) структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, друкованої плати, блок-схема алгоритму роботи системи

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	Опис технічного завдання	22.04.26 – 28.04.26	
2	Огляд та аналіз засобів вимірювання рівня рН	30.04.26 – 06.05.26	
3	Розробка структурної схеми	08.05.26 – 13.05.26	
4	Розробка електричної принципової схеми	15.05.26 – 19.05.26	
5	Розробка друкованої плати	20.05.26 – 23.05.26	
6	Розробка алгоритму та програми системи	25.05.26 – 28.05.26	
7	Розрахунок похибок системи	29.05.26 – 02.06.26	
8.	Розрахунок надійності системи	03.06.26 – 06.06.26	
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	08.06.26 – 11.06.26	

Студент _____ Бойко Д.Р.

Керівник роботи _____ Подчашинський Ю.О.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання показника pH для контролю якості косметичних засобів» містить 68 сторінок, 18 рисунків, 4 таблиці, 26 формул, 17 джерел.

У роботі проведено аналіз сучасних методів pH -метрії та обґрунтовано вибір елементної бази. На основі мікроконтролера ATmega328 розроблено структурну та принципову електричну схеми пристрою, а також алгоритмічне й програмне забезпечення для збору, обробки та візуалізації вимірювальної інформації. Розраховано надійність та точність система. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки.

Ключові слова: контролю якості косметичних засобів, вимірювання показника pH , датчик pH , мікроконтролер ATmega328.

ABSTRACT

Bachelor's qualification work on the topic "Computerized pH measurement system for quality control of cosmetics" contains 68 pages, 18 figures, 4 tables, 26 formulas, 17 sources.

The work analyzes modern methods of pH-metry and justifies the choice of the element base. Based on the ATmega328 microcontroller, a structural and principle electrical circuit of the device has been developed, as well as algorithmic and software for collecting, processing and visualizing measurement information. The reliability and accuracy of the system have been calculated. Special attention is paid to issues of labor protection and safety.

Keywords: quality control of cosmetics, pH measurement, pH sensor, ATmega328 microcontroller.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1 Призначення та область застосування.....	8
1.2 Умови експлуатації.....	8
1.3 Технічні параметри системи	9
1.4 Вимоги до конструктивного оформлення	10
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	11
2.1. Аналіз існуючих систем.....	11
2.2. Порівняльний аналіз систем.....	15
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	19
3.1. Обґрунтування складових системи	19
3.2. Обґрунтування мікроконтролерів.....	20
3.3 Обґрунтування датчика рН	22
3.4 Обґрунтування дисплея.....	23
3.5 Обґрунтування кнопок.....	25
3.6 Обґрунтування динаміка	26
3.7. Обґрунтування блока живлення.....	27
3.8. Структурна схема.....	29
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	31
4.1 Вибір мікроконтролера	31
4.2 Опис обраного датчика рН... ..	33
4.3. Опис обраного дисплея.....	36
4.4. Опис обраного динаміка.....	37
4.5. Опис обраної кнопки	39
4.6 Опис обраного блоку живлення	41
4.7. Побудова принципової схеми.....	42
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ	44
5.1. Розробка алгоритму	44
5.2. Розробка програми	46
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	52
6.1 Розробка друкованої плати	52
6.2. Розрахунки похибок	56
6.3. Розрахунок надійності системи	58
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	62
7.1. Законодавчі акти з охорони праці.....	62
7.2. Безпека життєдіяльності на підприємстві.....	63
ВИСНОВОК.....	66
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	69

					МММТ.420.003.003 – ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Бойко Д.Р.			Комп'ютеризована система вимірювання показника рН для контролю якості косметичних засобів			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Подчащинський								5	68
Керівник								Житомирська політехніка, гр.МТ-5			
Н. контр.											
Затверд.		Подчащинський									
					Пояснювальна записка						

ВСТУП

Сучасні технології, що дозволяють вимірювати та контролювати фізико-хімічні параметри рідких та пастоподібних середовищ, є важливими у промисловості, зокрема в парфумерно-косметичній галузі, де своєчасне та точне визначення основних показників якості готової продукції та сировини безпосередньо впливає на безпеку споживачів.

На сьогоднішній день комп'ютеризовані системи вимірювання рівня рН широко використовуються в заводських лабораторіях, а також безпосередньо на лініях розливу та фасування для постійного моніторингу стану косметичних засобів (кремів, шампунів, тоніків тощо), стабільність яких критично залежить від кислотно-лужного балансу. У перспективі ці пристрої стануть ще більш необхідними у зв'язку зі зростаючою потребою у мобільних, компактних засобах експрес-контролю та диджиталізації лабораторного аналізу з можливістю передачі даних у реальному часі.

Розробка та впровадження комп'ютеризованих систем вимірювання показника рН косметичних засобів стикається з рядом науково-технічних проблем. По-перше, необхідно забезпечити високу точність вимірювань, яка залежить від якості та стабільності рН-електродів, а також від алгоритмів динамічної термокомпенсації, оскільки рН середовища суттєво залежить від температури. По-друге, важливим є питання надійності та апаратної оптимізації пристроїв, зокрема проєктування компактних друкованих плат, узгодження високого внутрішнього опору електрода з аналоговим фронтом мікроконтролера. По-третє, необхідно враховувати умови безпечної експлуатації таких пристроїв при роботі з хімічними речовинами та лабораторним обладнанням, що потребує чіткого аналізу з точки зору охорони праці.

Розробка, що розглядається, спрямована на розв'язання проблеми точного, швидкого та стабільного моніторингу показника рН з використанням сучасних мікроконтролерних засобів (зокрема ATmega328) та оптимізованих алгоритмів обробки й фільтрації вимірювальних сигналів. Ця розробка має

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

важливе значення як для виробничих підприємств і сертифікаційних лабораторій, що прагнуть підвищити якість контролю, так і для розробників рецептур косметичних засобів на етапі досліджень.

На ринку вже існує кілька виробів-аналогів, таких як портативні та стаціонарні рН-метри. Проте більшість з них має ряд недоліків, серед яких – висока вартість спеціалізованих лабораторних комплексів, відсутність можливості гнучкої інтеграції в локальні комп'ютеризовані системи керування, складність калібрування в польових або виробничих умовах, а також обмежена завадостійкість під час роботи з в'язкими емульсіями. Ці недоліки вказують на необхідність розробки нових, більш досконалих, економічно виправданих та апаратно оптимізованих пристроїв.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання показника рН для контролю якості косметичних засобів з високими показниками точності, завадостійкості та надійності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Сформулювати технічне завдання на розробку системи;
2. Провести аналіз літературних джерел та існуючих технічних і методичних рішень за темою дипломної роботи;
3. Розробити структурну схему комп'ютеризованої системи вимірювання рН;
4. Розробити принципову електричну схему системи та спроектувати друковану плату;
5. Розробити блок-схему алгоритму роботи та відповідне програмне забезпечення для мікроконтролера ATmega328;
6. Виконати розрахунок точності вимірювальної системи та оцінку її надійності;
7. Провести огляд питань з охорони праці та безпеки під час експлуатації пристрою в лабораторних та виробничих умовах.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система вимірювання показника рН призначена для забезпечення оперативного та високоточного контролю якості косметичної продукції у безперервному автоматичному або автоматизованому режимах безпосередньо в процесі її виробництва, лабораторного аналізу та сертифікації. Система повинна автоматизувати процес збору вимірювальної інформації від первинного перетворювача (датчика рН), здійснювати динамічну термокомпенсацію та відображати результати вимірювань.

Областю застосування комп'ютеризованої системи контролю якості косметичної продукції є:

- відділи технічного контролю (ВТК) та лабораторії контролю якості на підприємствах парфумерно-косметичної галузі;
- науково-дослідні лабораторії, що займаються розробкою та тестуванням нових рецептур косметичних засобів;
- незалежні центри сертифікації та стандартизації споживчих товарів.

1.2 Умови експлуатації

- Температура в лабораторії: від +15°C до +45°C;
- Відносна вологість в лабораторії: до 85% при температурі +25°C;
- Атмосферний тиск: 600–800 мм рт. ст.;
- Хімічно активні компоненти: агресивні та корозійно-активні гази в навколишньому повітрі відсутні;
- Вібрація, тряска, удари: відсутні;
- Характер роботи системи: періодичної (циклічної) дії під час проведення замірів;
- Ремонтопридатність: система є ремонтпридатною та відновлюваною;

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

– Живлення системи: 5 В (постійний струм від USB або лабораторного блока живлення).

Експлуатація комп'ютеризованої системи контролю якості здійснюється в лабораторних приміщеннях, що опалюються. Вибухонебезпечні та легкозаймисті речовини в зоні безпосереднього функціонування пристрою мають бути відсутні.

У процесі експлуатації необхідно періодично проводити калібрування вимірювальної системи за буферними розчинами згідно з розробленими інструкціями (для нівелювання дрейфу характеристик рН-електрода). Зберігати пристрій та первинний перетворювач необхідно в сухому місці при кімнатній температурі (із дотриманням правил зберігання рН-електрода у спеціальному розчині KCl). Під час роботи слід уникати механічних пошкоджень, падінь та ударів пристрою.

1.3 Технічні параметри системи

Комп'ютеризована система вимірювання має кілька входів та виходів для взаємодії із зовнішніми компонентами. Один із входів призначений для підключення кнопки керування ввімкнення та вимкнення системи. Інший аналоговий вхід слугує для надходження вимірювального сигналу від датчика рН. Також до системи надходить живлення від акумуляторної батареї.

На виході система відображає на дисплей виміряні дані поточного рівня рН. Крім того, з цифрового виходу мікроконтролер посиляє керуючий сигнал на динамік. У випадку виявлення критичних значень кислотності чи лужності (рівня рН) відбувається звукове оповіщення користувача.

Центральним елементом системи є мікроконтролер, який приймає вхідні сигнали від кнопки та датчика рН. На основі аналізу отриманих даних мікроконтролер здійснює математичну обробку сигналу, формує кінцевий результат вимірювання у фізичних одиницях рН та передає інформацію на вихідні пристрої – дисплей та динамік.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики системи та її складових частин:

- Діапазон вимірювання рН: від 0 до 14 рН;
- Точність вимірювання системи: абсолютна похибка вимірювання рН: до $\Delta = 0,1$ рН, відносна похибка до 2% ;
- Середнє напрацювання на відмову становить від 14 000 годин;
- Тип дисплея: графічний/символьний із послідовним інтерфейсом I2C;
- Архітектура мікроконтролера: 8-бітне ядро AVR;
- Напруга живлення системи: 5 В.

1.4 Вимоги до конструктивного оформлення

Система складається з уніфікованих та взаємозамінних компонентів. Мікроконтролер, датчик рН з платою узгодження, акумулятор, дисплей та динамік є стандартними серійними елементами. Це дозволяє у випадку поломки або вичерпання ресурсу (наприклад, деградації електрода чи акумулятора) швидко замінити їх на аналогічні компоненти без необхідності модифікації схемотехніки чи повної перебудови всієї системи.

Портативна комп'ютеризована система повинна бути розміщена в міцному захисному корпусі, виготовленому з ударостійкого пластику (наприклад, ABS-пластику), який стійкий до брызг та випадкового потрапляння крапель косметичних засобів чи води. Конструкція корпусу має передбачати спеціальні технологічні отвори та пази для надійної фіксації елементів інтерфейсу та індикації

Усі внутрішні електронні компоненти, включаючи друковану плату та блоки живлення, повинні бути жорстко зафіксовані всередині корпусу за допомогою гвинтового з'єднання або спеціальних пластикових стійок для запобігання їх зміщенню під час експлуатації та транспортування.

Габарити установки: 35x80x20 мм мм (розмір плати 33x76 мм).

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Аніліз існуючих систем

Для обґрунтування технічних рішень та проведення порівняльного аналізу в роботі розглянуто сучасні промислові та портативні аналоги рН-метрів, а саме: вимірювач кислотності BENETECH GM765, кишеньковий рН-метр з автоматичним калібруванням та мікропроцесорний прилад EZODO 7011.

Вимірювач кислотності та температури BENETECH GM765 представлено на рис.2.1.



Рис.2.1.Вимірювач кислотності та температури BENETECH GM765

Компактний, портативний цифровий прилад побутового та напівпрофесійного класу, призначений для швидкого вимірювання водневого показника (рН) та температури рідин. Модель оснащена вбудованим РК-дисплеєм із підсвіткою, що спрощує роботу в умовах недостатнього освітлення. Застосовується в харчовій промисловості, аграрному секторі та лабораторній експрес-діагностиці.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання рН: 0.00 – 14.00 рН;
- Точність (похибка): ± 0.1 рН ($\pm 0.1\%$ від шкали);
- Додаткова функція: вимірювання температури розчину;
- Особливості конструкції: вбудований РК-дисплей із підсвічуванням, інтегрований датчик, легкий пластиковий корпус [1].

Портативний рН-метр 0.00-14.00 рН з автоматичним калібруванням представлено на рис.2.2.



Рис.2.2. Портативний рН-метр 0.00-14.00 рН

Популярний кишеньковий рН-метр (класу рН-метр типу "ручка" / Pocket pH Meter), призначений для вимірювання кислотності рідких середовищ. Головною перевагою є наявність цифрового (автоматичного) калібрування за допомогою кнопок на корпусі (по 2 або 3 точках), що значно точніше та зручніше, ніж ручне гвинтове налаштування. Має функцію автоматичної температурної компенсації (АТК).

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання рН: 0.00 – 14.00 рН;
- Роздільна здатність: 0.01 рН;
- Точність (похибка): ± 0.01 рН;
- Температурна компенсація (АТК): автоматична (зазвичай у діапазоні 0 – 60 °С);
- Калібрування: автоматичне цифрове за буферними розчинами (рН 4.00, 6.86, 9.18);
- Живлення: мініатюрні батарейки (типу марганцево-лужних елементів AG13/LR44 або еквівалент) [2].

Багатофункціональний водозахищений рН/ОВП-метр/термометр EZODO 7011 представлено на рис.2.3.



Рис.2.3. рН/ОВП-метр/термометр EZODO 7011

Професійний портативний прилад мікропроцесорного типу у високоміцному водонепроникному корпусі (клас захисту IP57). Окрім показника рН та температури, здатний вимірювати окисно-відновний потенціал (ОВП / RedOx) за умови підключення відповідного електрода.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Оснащений великим графічним РК-екраном. Завдяки надійності та високій точності, він часто виступає компактною та мобільною альтернативою стаціонарним лабораторним рН-метрам на підприємствах харчової промисловості та в дослідницьких лабораторіях.

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання: рН: від -2.00 до 16.00 рН; ОВП: від -1000 до +1000 мВ; Температура (Temp): 0 – 90 °С;
- Точність (похибка): рН: ± 0.01 рН +1 цифра; ОВП: ± 2 мВ + 1 цифра; Температура: ± 0.2 °С +1 цифра;
- Роздільна здатність: 0.01 рН / 1 мВ / 0.1 °С;
- Автоматична компенсація температури (АТК): динамічна, в межах 0 – 90 °С;
- Калібрування: автоматичне по 3 точках (рН 4.00, 7.00, 10.01);
- Конструктивні особливості: водонепроникний корпус, модульна конструкція (змінні електроди, що дозволяє легко замінити зношений скляний рН-електрод);
- Живлення: DC 1.5В (4 батарейки типу ААА) [3].

Мультифункціональний водозахищений рН/ОВП/кондуктометр/солемір/термометр EZODO 7200 представлено на рис.2.4.



Рис.2.4. рН EZODO 7200

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Цей прилад належить до класу комбінованих мікропроцесорних аналізаторів рідин («п'ять в одному»). Його ключова особливість — здатність замінити цілу хімічну лабораторію завдяки вимірюванню не лише кислотності (pH) та температури, а й електропровідності (Cond), мінералізації / загального вмісту солей (TDS) та окисно-відновного потенціалу (ОВП). Прилад виконаний у міцному пило та водозахищеному корпусі (клас захисту IP57), має функцію автоматичного розпізнавання датчиків та калібрування за буферними розчинами.

- Технічні характеристики:
- Діапазон вимірювання: pH: від -2.00 до 16.00 pH; ОВП: від -1000 до +1000 мВ;
- Електропровідність (Cond): 0 – 2000 мкСі/см та 2.00 – 20.00 мСі/см;
- Солевміст (TDS): 0 – 1300 ppm та 1.30 – 13.00 ppt;
- Температура: 0 – 90 °С;
- Точність (похибка): pH: ± 0.01 pH + 1 цифра; ОВП: ± 2 мВ + 1 цифра;
- Електропровідність / TDS: $\pm 2\%$ від шкали;
- Температура: ± 0.2 °С + 1 цифра;
- Роздільна здатність: 0.01 pH / 1 мВ / 1 мкСі/см / 1 ppm / 0.1 °С;
- Температурна компенсація (АТК): автоматична в межах 0 – 90 °С;
- Калібрування: автоматичне (по 3 точках для pH та по 2 точках для провідності);
- Живлення: DC 1.5В (4 батарейки типу ААА) [4].

2.2 Порівняльний аналіз систем

Для обґрунтування технічних рішень та проведення порівняльного аналізу в роботі розглянуто сучасні промислові та портативні аналоги pH-метрів, а саме: вимірювач кислотності BENETECH GM765, кишеньковий pH-метр з автоматичним калібруванням, а також професійні мікропроцесорні прилади EZODO 7011 та EZODO 7200.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Для наочності порівняння основних техніко-експлуатаційних та метрологічних характеристик розглянутих аналогів зведено у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика приладів-аналогів рН-метрів

Критерій порівняння	BENETEC H GM765	Кишеньковий рН-метр з АТК	EZODO 7011	EZODO 7200
Діапазон вимірювання рН	0.00 – 14.00	0.00 – 14.00	-2.00 – 16.00	-2.00 – 16.00
Похибка вимірювання рН	±0.1 рН	±0.01 рН	±0.01 рН	±0.01 рН
Температурна компенсація	Відсутня	Автоматична (0..60 °С)	Автоматична (0..90 °С)	Автоматична (0..90 °С)
Додаткові параметри	Температура	Немає	Температура, ОБП	Температура, ОБП, Cond, TDS
Захист корпусу	Звичайний	Звичайний	Водозахищений (IP57)	Водозахищений (IP57)
Взаємозамінність датчика	Ні (вбудований)	Ні (вбудований)	Так (BNC-роз'єм)	Так (модульний)
Цінова категорія	Низька	Низька	Середня	Висока

BENETECH GM765 та кишеньковий рН-метр з АТК це бюджетні аналоги, вони мають ряд переваг та недоліків.

Переваги: Низька ринкова вартість, максимальна компактність, простота використання («увімкнув і виміряв»), наявність базової автоматичної компенсації температури у кишенькових моделей.

Недоліки: Конструкція типу «ручка» має незмінний інтегрований датчик. У разі деградації або механічного пошкодження скляного електрода прилад стає непридатним для ремонту. Мають слабкий захист від в'язких і густих емульсій, які часто зустрічаються в косметичі (креми, маски). Відсутня можливість збереження логів вимірювань та інтеграції в автоматизовані системи лабораторного обліку.

EZODO 7011 та EZODO 7200 професійні прилади також мають ряд переваг та недоліків.

Переваги: Висока точність вимірювання (± 0.01 pH), широкий діапазон температурної компенсації, пило- та водозахищений корпус класу IP57. Модель 7200 є універсальним мультиметром («5 в 1»), що вимірює солеміст та провідність. Наявність змінних електродів спрощує технічне обслуговування.

Недоліки: Висока вартість обладнання та змінних фірмових модулів. Модель 7200 має надлишкову функціональність – для контролю якості більшості косметичних засобів (кремів, шампунів, тоніків) базовим та критичним є саме показник pH, тоді як функції кондуктометра чи солеміра здорожують прилад, але залишаються незадіяними. Жоден із приладів не має вбудованої гнучкої системи звукової сигналізації меж норми або можливості програмного підлаштування під конкретні технологічні регламенти підприємства.

Аналіз існуючих технічних рішень показує, що на ринку існує незаповнений сегмент між дешевими побутовими приладами з низькою надійністю та дорогими лабораторними мультиметрами з надлишковим функціоналом. Це зумовлює високу актуальність розробки комп'ютеризованої системи вимірювання pH на базі мікроконтролера ATmega328, орієнтованої саме на контроль якості косметичних засобів, з таких причин:

1. Економічна доцільність та оптимізація: Використання серійних уніфікованих компонентів (мікроконтролер, стандартний pH-електрод, доступні дисплей та акумулятор) дозволяє суттєво знизити собівартість пристрою порівняно з професійними аналогами EZODO, зберігаючи високу точність вимірювання (± 0.05 pH).

2. Апаратно-програмна гнучкість: На відміну від жорстко зафіксованої логіки фабричних приладів, розроблювана система на базі ATmega328 дозволяє гнучко модернізувати алгоритм роботи. Наприклад, програмно задавати граничні межі pH для різних типів косметики (для шампуню –

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

5.0..7.0, для кислотного пілінгу – 3.0..4.0) та реалізувати функцію звукового оповіщення через динамік у разі браку продукції.

3. Ремонтопридатність та автономність: Завдяки використанню уніфікованих модулів, у разі зносу рН-електрода або деградації акумулятора, користувач може швидко замінити їх без необхідності повної перебудови чи купівлі нового приладу. Наявність вбудованого акумулятора та компактної плати (33x60 мм) забезпечує мобільність системи як у лабораторних умовах, так і безпосередньо біля виробничих ліній.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1 Обґрунтування складових системи

Запропонована комп'ютеризована вимірювальна система виконує вимірювання водневого показника (рівня рН) та температури косметичних засобів для оперативного контролю їхньої якості на виробництві та в лабораторіях. Вимірювальна система виконана в компактному пластиковому корпусі, який оператор може легко утримувати в руці або розмістити на лабораторному столі поруч із досліджуваними зразками. Коли оператор занурює вимірювальний електрод у косметичний засіб (крем, шампунь, тонік тощо), система в автоматизованому режимі розпочинає зчитування даних, здійснює температурну компенсацію та обраховує точне значення рН.

Також передбачено можливість гнучкого налаштування та калібрування системи за еталонними буферними розчинами із збереженням калібрувальних коефіцієнтів в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера. Інформація про поточний рівень рН та температуру середовища обробляється в реальному часі й відображається на дисплеї. При виході контрольованого показника за межі технологічної норми або при завершенні процесу стабілізації вимірювання система подає звуковий сигнал сповіщення користувача.

Для функціонування комп'ютеризованої системи необхідні наступні складові частини:

1. Мікроконтролер – є центральним органом керування вимірювальною системою в цілому. Він забезпечує циклічне зчитування аналогових або цифрованих показників з датчика рН та вбудованого термометра, програмну фільтрацію завад, математичний розрахунок водневого показника з урахуванням формули динамічної термокомпенсації, обробку команд від тактової кнопки керування та формування сигналів для виведення інформації на дисплей і активації динаміка.

2. Датчик рН (первинний перетворювач з платою узгодження) – використовується для визначення активності іонів водню в косметичному

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

засобі. Він складається зі скляного комбінованого електрода та спеціалізованого аналогового фронтенду (модуля узгодження), який посилює надвисокий внутрішній опір електрода та перетворює ЕРС електродної системи у придатний для обробки мікроконтролером сигнал.

3. Дисплей з інтерфейсом – призначений для виведення вимірних, обчислених та калібрувальних значень (рівень рН у фізичних одиницях,) у зручному для користувача текстово-графічному форматі.

4. Динамік (п'єзовипромінювач) – слугує для оперативної звукової сигналізації стану системи. Він забезпечує звукове сповіщення користувача про успішне завершення фіксації показника рН, а також видає тривожний сигнал у разі виявлення критичного відхилення кислотності чи лужності косметичного засобу від заданого технологічного регламенту.

5. Кнопка керування – забезпечує взаємодію користувача з пристроєм. Вона виконує вмикання та вимикання системи.

6. Блок живлення – виступає автономним джерелом живлення системи, що забезпечує тривалу роботу пристрою в мобільних умовах при мінімальній вазі та габаритах, позбавляючи систему залежності від стаціонарної електромережі.

3.2 Обґрунтування мікроконтролеру

Центральним вузлом обробки інформації та керування в розроблюваній системі є мікроконтролер. Доцільність його використання зумовлена такими чинниками:

- Програмна гнучкість: можливість легко змінювати алгоритми фільтрації сигналів та термокомпенсації рН без перепроєктування апаратної частини;
- Апаратна інтегрованість: наявність вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), таймерів та інтерфейсів зв'язку на одному кристалі, що зменшує габарити друкованої плати;

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

- Ефективність: забезпечення обчислень та калібрування системи в режимі реального часу;
- Економічність: низька ринкова вартість у поєднанні з високою надійністю.

Сучасні мікроконтролери, що представлені на ринку електронних компонентів, за своїми архітектурними та функціональними особливостями можуть бути розподілені на три основні класи

Мікроконтролери архітектури ARM (наприклад, STM32): мають високу обчислювальну здатність та розвинену периферію. Проте для даного проєкту їхня потужність є надлишковою, а процес програмування та схемотехнічної обв'язки значно складніший.

Чіпи сімейства ESP (ESP8266, ESP32): орієнтовані на технології Інтернету речей (IoT) завдяки інтегрованим модулям Wi-Fi та Bluetooth. Для портативного локального рН-метра ці функції не є базовими та призводять до підвищеного енергоспоживання.

Мікроконтролери сімейства AVR (Microchip/Atmel): відзначаються оптимальним балансом між швидкодією, низьким енергоспоживанням та простотою інтеграції.

Обґрунтування вибору: Для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання рН обрано 8-бітний мікроконтролер ATmega328.

Його технічні ресурси є оптимальними для вирішення поставлених завдань: вбудований 10-бітний АЦП забезпечує точне зчитування сигналу з аналогового модуля рН-електрода, апаратний інтерфейс I2C дозволяє підключити рідкокристалічний дисплей за допомогою двох дротів, а лінійка цифрових портів повністю задовольняє потреби для підключення тактової кнопки та звукового динаміка. Крім того, наявність енергонезалежної пам'яті EEPROM дозволяє надійно зберігати калібрувальні коефіцієнти пристрою при вимкненні живлення.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3.3. Обґрунтування датчика pH

Первинний перетворювач (датчик pH) є найважливішим елементом вимірювальної системи, оскільки саме він безпосередньо взаємодіє з досліджуваним середовищем — косметичним засобом — та відповідає за точність зняття первинних фізико-хімічних показників.

Визначення водневого показника в сучасній вимірювальній техніці може реалізовуватися декількома основними методами:

- Колориметричний метод (за допомогою хімічних індикаторів): базується на зміні кольору реагенту залежно від кислотності середовища. Має високу суб'єктивність оцінки, низьку точність і не підходить для автоматизації чи комп'ютеризованого аналізу.

- Фотометричний метод: автоматизований варіант колориметрії, що використовує оптичні сенсори для фіксації зміни кольору. Метод є складним у конструктивному використанні та малоефективним для густих, непрозорих або забарвлених косметичних емульсій (креми, помади, маски).

- Потенціометричний метод (електродний): базується на вимірюванні електрорушійної сили (ЕРС) електродної системи, яка пропорційна активності іонів водню в розчині. Це найбільш універсальний, точний та загальноприйнятий метод у промисловості та лабораторній практиці, який легко піддається автоматизації.

Оскільки косметичні засоби мають різну консистенцію (від рідких тоніків до в'язких кремів), датчик повинен мати високу хімічну стабільність, швидкий час відгуку та стандартний електричний інтерфейс для зв'язку з мікроконтролером.

Для реалізації комп'ютеризованої системи було обрано Аналоговий датчик pH сумісний з Arduino (стандартний набір: плата узгодження pH-4502C + комбінований скляний електрод E-201-C).

Вибір цього вимірювального модуля зумовлений такими критеріями:

1. Метрологічні характеристики: Датчик забезпечує повний діапазон вимірювання від 0 до 14 pH з точністю ± 0.05 pH (після програмного

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

калібрування), що повністю задовольняє жорсткі вимоги стандартів контролю якості парфумерно-косметичної продукції.

2. Наявність високоякісного аналогового фронтенду (плати узгодження): Складний рН-електрод має колосальний внутрішній опір (до сотен мегаом), тому його не можна підключати безпосередньо до АЦП мікроконтролера. Комплектна плата вузла узгодження реалізована на прецизійному операційному підсилювачі, який перетворює слабкий сигнал ЕРС електрода в лінійну аналогову напругу в діапазоні $0..5\text{ В}$, що ідеально підходить для вбудованого 10-бітного АЦП мікроконтролера ATmega328.

3. Апаратне налаштування та гнучкість: Плата модуля містить вбудовані потенціометри для апаратного налаштування зміщення нуля (калібрування ізопотенціальної точки) та регулювання підсилення, що дозволяє виконати точне первинне юстування датчика.

4. Конструктивні особливості електрода: Електрод Е-201-С є комбінованим (електрод порівняння та вимірювальний електрод об'єднані в одному корпусі), виконаний у міцному пластиковому чохлі, що захищає тонку скляну колбу від механічних пошкоджень під час занурення у в'язкі косметичні засоби.

5. Економічна доступність та уніфікація: Цей датчик є промисловим стандартом для макетування та DIY-автоматизації. Його низька вартість у поєднанні з використанням стандартного роз'єму типу BNC дозволяє оперативно замінити сам вимірювальний електрод у разі його природної деградації або зносу, не змінюючи при цьому електронну плату пристрою.

3.4 Обґрунтування дисплея

Для забезпечення оперативного моніторингу та візуалізації вимірюваних значень у комп'ютеризованій системі контролю якості необхідне використання пристрою відображення інформації. Дисплей повинен мати низьке енергоспоживання для збереження автономності приладу, компактні

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

габарити для інтеграції в портативний корпус, а також забезпечувати чітке зчитування даних оператором у лабораторних умовах.

Сучасні засоби відображення інформації класифікують за технологією формування зображення та архітектурою матриці:

1. Рідкокристалічні символні дисплеї (LCD Character Displays): призначені для виведення виключно текстових даних та спеціальних символів у заздалегідь визначеному алфавітно-цифровому форматі (наприклад, індикатори типу 1602). Вони мають низьку вартість, проте суттєво обмежені у можливостях побудови графічного інтерфейсу та динамічних елементів.

2. Рідкокристалічні матричні дисплеї (LCD Matrix Displays): найбільш розповсюджений тип індикаторів, де зображення формується з масиву окремих пікселів, розташованих у вигляді рядків і стовпців. Дозволяють гнучко виводити як текст, так і графіку, але потребують постійного фонового підсвічування, що збільшує струм споживання системи.

3. OLED-дисплеї (Organic Light Emitting Diode): прогресивна технологія індикації, що базується на використанні органічних сполук, які самостійно випромінюють світло під дією електричного струму. Вони мають низку суттєвих переваг над традиційними рідкокристалічними (LCD) панелями, серед яких: абсолютна контрастність (завдяки відсутності потреби у фоновому підсвічуванні), максимальні кути огляду, мінімальний час відгуку та висока енергоефективність.

На основі аналізу експлуатаційних вимог до розроблюваної системи вимірювання pH, як базовий засіб індикації було обрано графічний OLED-дисплей Adafruit на базі драйвера інспекції SSD1306 з роздільною здатністю 128x64 пікселів.

Дане рішення обґрунтоване високою енергоефективністю OLED-технології, де струм споживається лише активними пікселями, що суттєво економить заряд акумулятора порівняно з LCD-аналогами. Завдяки екстремальній контрастності та кутам огляду близько 180° оператор може чітко зчитувати показники під будь-яким нахилом приладу на лабораторному

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

столі. Мінімальний час відгуку матриці гарантує миттєву візуалізацію змін pH та температури без затримок. Крім того, ультракомпактний дизайн, мала вага та підтримка послідовного інтерфейсу I2C дозволяють підключити модуль до мікроконтролера ATmega328 усього за двома лініями керування (SDA та SCL), що значно спрощує розведення друкованої плати та зменшує габарити пристрою.

3.5. Обґрунтування кнопки

Для забезпечення взаємодії оператора з комп'ютеризованою вимірювальною системою (ініціалізації вимірювання, перемикання режимів або переходу в режим калібрування) необхідне інтегрування органу ручного керування. Найбільш поширеним та надійним засобом для вирішення таких завдань є електромеханічна кнопка (перемикач), яка забезпечує замикання або розмикання електричного кола під дією фізичного натискання.

За логікою функціонування та способом утримання контактів кнопки поділяють на два основні класи:

1. Кнопки із фіксацією стану (Latching): змінюють свій комутаційний стан (ввімкнено/вимкнено) після одного натискання і стабільно утримують його до наступного натискання користувачем. Зазвичай застосовуються у ланцюгах загального живлення пристроїв.

2. Кнопки без фіксації стану, або моментальної дії (Momentary / Tactile): замикають електричне коло лише на час безпосереднього фізичного утримання її оператором. Після зняття зусилля внутрішня пружина миттєво повертає штовхач у вихідне положення, розмикаючи контакти. Такі кнопки ідеально підходять для генерації керуючих імпульсів для мікроконтролерів.

Провідними світовими виробниками комутаційних компонентів та надійних електромеханічних вузлів є компанії Omron Corporation, TE Connectivity та C&K Components, які випускають сертифіковану продукцію для промислової автоматики та портативної споживчої електроніки.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

На основі аналізу схемотехнічних рішень та архітектури мікроконтролера ATmega328, для реалізації інтерфейсу керування системою вимірювання рН було обрано тактову кнопку моментального типу TL1105BF160Q (виробництва E-Switch).

Даний вибір обґрунтований високою надійністю конструкції кнопки, яка розрахована на понад 100 000 циклів натискань для стабільної роботи при щоденному лабораторному використанні. Модель володіє чітким тактильним відгуком із зусиллям 160 грам, що забезпечує оператору відчуття спрацьовування та запобігає випадковим діям. Завдяки компактним геометричним розмірам та DIP-выводам її можна надійно запаяти безпосередньо на розроблювану друковану плату (33 60 мм) із зручним виведенням штовхача крізь верхню панель корпусу. Крім того, високоякісні матеріали корпусу гарантують відмінну електричну ізоляцію контактів і захист від окислення, що забезпечує стабільний цифровий сигнал на вході мікроконтролера ATmega328 без збоїв чи залипань.

3.6. Обґрунтування динаміка

Для забезпечення оперативного інформування оператора про завершення процесу стабілізації вимірювання рН або сигналізації про вихід контрольованих параметрів косметичного засобу за межі технологічної норми в архітектуру системи інтегровано модуль звукового сповіщення (динамік). Цей електромеханічний пристрій призначений для перетворення електричних сигналів мікроконтролера у звукові хвилі.

За фізичним принципом роботи та конструкцією сучасні випромінювачі поділяють на такі класи:

1. Динамічні випромінювачі (Dynamic Drivers): працюють на електромагнітному принципі, де струм викликає коливання звукової котушки в магнітному полі, передаючи імпульс діафрагмі. Вони є найбільш поширеними завдяки високій ефективності, простоті та надійності.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2. П'єзоелектричні випромінювачі (Piezoelectric Drivers): створюють звук за рахунок деформації п'єзокерамічного елемента під дією напруги. Мають високу частотну відповідь, але обмежений низькочастотний спектр.

3. Спеціалізовані драйвери (арматурні, електростатичні, планарні): орієнтовані на прецизійне відтворення високоякісного аудіо (ІЕМ-навушники, студійна техніка), потребують складного частотного узгодження або підсилення, тому є недоцільними для систем аварійного сповіщення.

Провідними виробниками звукового обладнання та компонентів індикації на світовому ринку є такі бренди, як Sennheiser, Bose, Sony, Beyerdynamic, JBL та Audio-Technica, які задають стандарти надійності та якості передачі аудіосигналів.

На основі аналізу схемотехнічних вимог портативного приладу, як модуль звукової сигналізації було обрано мініатюрний динамічний спікер Adafruit SPKR-8 (опір 8 Ом, потужність 0.5 Вт).

Дане рішення повністю обґрунтоване високою енергоефективністю та оптимізацією модуля, оскільки низька споживана потужність динаміка не створює критичного навантаження на порти мікроконтролера ATmega328 та автономну систему живлення в цілому. Попри свій мініатюрний форм-фактор, пристрій забезпечує відмінну ергономічність, високу чіткість та достатню гучність аудіосигналу, що ідеально підходить для формування чітких інформаційних чи тривожних сповіщень у лабораторних або цехових умовах виробництва. Крім того, виражена конструктивна компактність, малі геометричні розміри та ультратонка структура дозволяють без зусиль зафіксувати динамік всередині малогабаритного пластикового корпусу приладу, суттєво заощаджуючи його внутрішній корисний простір.

3.7. Обґрунтування блока живлення

Підсистема живлення виконує критично важливу функцію стабільного забезпечення електроенергією всіх елементів комп'ютеризованої системи.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Вона повинна гарантувати задані рівні напруги та струму, необхідні для безперебійної роботи мікроконтролера ATmega328, аналогового модуля рН-електрода, OLED-дисплея та звукового динаміка.

При проектуванні підсистеми живлення портативних засобів вимірювань враховують такі базові технічні критерії:

1. Стабільність та надійність: коливання напруги здатні внести суттєві похибки в аналогово-цифрове перетворення сигналу з рН-датчика. Тому джерело повинно підтримувати постійну напругу без значних пульсацій.

2. Потужність та енергобаланс: джерело повинно володіти достатньою потужністю для одночасного забезпечення енергією всіх периферійних вузлів у пікові моменти роботи (наприклад, під час активності звукового сповіщувача та підсвічування дисплея).

3. Енергоефективність (ККД) та теплові характеристики: високий коефіцієнт корисної дії мінімізує втрати енергії на розсіювання тепла, що критично для закритих компактних корпусів.

4. Комплексна безпека: обов'язкова наявність вбудованого апаратного захисту від короткого замикання, глибокого розряду та перенапруги для захисту дорогої мікропроцесорної техніки.

Залежно від умов експлуатації вимірювальних систем, архітектура живлення може базуватися на AC-DC перетворювачах (для стаціонарних приладів, що живляться безпосередньо від електромережі змінного струму) або на DC-DC перетворювачах (при використанні батарей чи акумуляторів).

Для забезпечення мобільності, автономності та можливості проведення експрес-тестів безпосередньо біля виробничих ліній парфумерно-косметичної продукції було обрано схему автономного живлення на базі постійного струму (DC). Використання DC-DC перетворювача дозволяє підтримувати стабільні 5 В на виході незалежно від поступового розряду батареї.

На основі аналізу сумарної споживаної потужності компонентів системи та вимог щодо портативності, як інтегроване джерело було обрано

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

спеціалізований автономний модуль живлення Adafruit з літій-полімерним (Li-Po) акумулятором та вбудованою платою керування.

Дане технічне рішення без списків обґрунтоване такими перевагами:

Обраний модуль поєднує в собі високу ємність акумулятора та інтегрований інтелектуальний контролер заряду, що гарантує тривалий час автономної роботи пристрою за мінімальної ваги та габаритів. Вбудований DC-DC перетворювач забезпечує високу ефективність і стабільну вихідну напругу, нівелюючи будь-які внутрішні коливання або зміни в навантаженні, що позитивно впливає на загальну точність вимірювання рН. Безпека експлуатації приладу в лабораторних умовах досягається завдяки надійним апаратним системам захисту від перенапруги, перезаряду, глибокого розряду та короткого замикання. Крім того, модуль є максимально ергономічним та зручним у використанні, оскільки підтримує швидке та універсальне заряджання акумулятора від будь-якого стандартного зовнішнього джерела через поширений інтерфейс USB.

3.8. Структурна схема

Структурна схема – це документ, який визначає основні функціональні частини виробу (елементи, модулі, блоки), їхнє призначення та взаємозв'язки.

Вона розробляється на початкових етапах проектування і слугує для ознайомлення із загальною архітектурою пристрою, відображаючи послідовність взаємодії між центральним процесором (мікроконтролером), первинними перетворювачами (датчиками) та периферійними вузлами в спрощеному графічному вигляді (як правило, у формі прямокутників із лініями зв'язку та стрілками).

На основі визначеного складу апаратних засобів, функціональних вимог та взаємозв'язків між елементами системи було розроблено її структурну схему (рис. 3.1).

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рис.3.1 Структурна схема системи

На схемі зображені наступні складові:

1. Мікроконтролер.
2. Датчик рН.
3. Кнопка.
4. Динамік.
5. Дисплей.
6. Блок живлення.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер ATmega328 є центральним керуючим компонентом розроблюваної вбудованої системи завдяки своїй високій надійності, енергоефективності та універсальності. Його архітектурна гнучкість та розвинена апаратна периферія дозволяють ефективно вирішувати завдання збору даних, цифрової обробки сигналів та координації роботи периферійних модулів. Завдяки цим властивостям, ATmega328 (рис. 4.1) є оптимальним вибором для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання рН, забезпечуючи стабільне функціонування пристрою та високу точність контролю показників якості косметичної продукції.



Рисунок 4.1. Мікроконтролер ATmega328

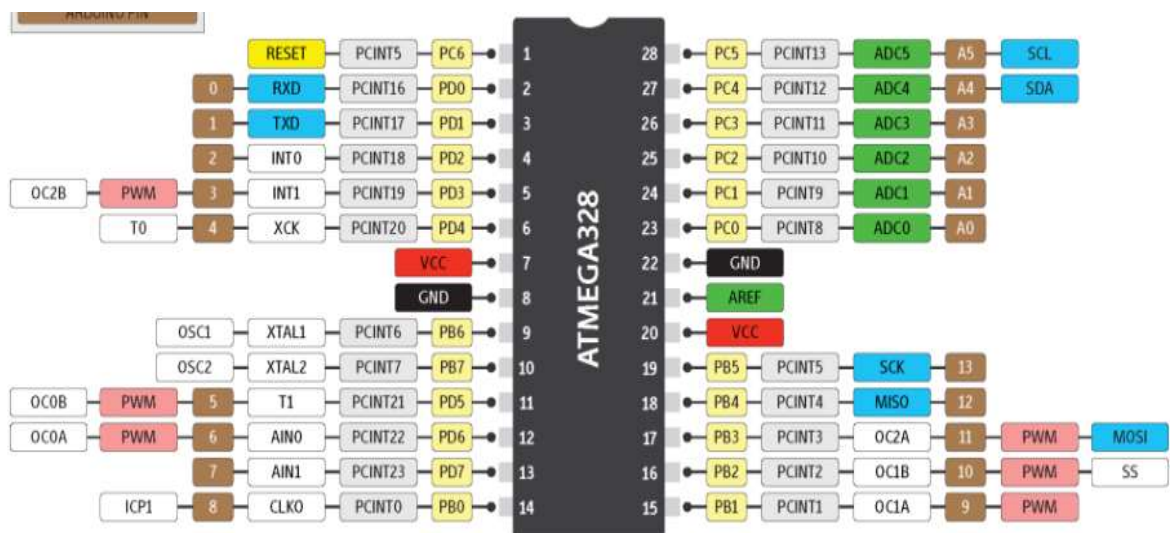


Рисунок 4.2. Розташування виводів ATmega328

Мікроконтролер ATmega328 побудований на базі прогресивної архітектури AVR RISC (Reduced Instruction Set Computer), головною особливістю якої є виконання більшості команд за один тактовий цикл. Це забезпечує високу обчислювальну продуктивність та ефективність використання апаратних ресурсів за рахунок скороченого набору інструкцій процесора. Пам'ять мікроконтролера чітко розмежована і включає 32 КБ флеш-пам'яті програм для збереження складного мікропроцесорного коду, 2 КБ оперативної пам'яті SRAM для збереження динамічних змінних під час поточних обчислень, а також 1 КБ енергонезалежної пам'яті EEPROM, яка призначена для довгострокового зберігання конфігураційних параметрів та калібрувальних коефіцієнтів системи вимірювання рН. Завдяки здатності функціонувати на максимальній тактовій частоті до 20 МГц, чіп гарантує швидку обробку вхідних вимірювальних сигналів та оперативне виконання керуючих алгоритмів у режимі реального часу.

Периферійні можливості ATmega328 представлені 23 універсальними лініями введення-виведення, серед яких 6 каналів інтегровано з внутрішнім аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) і використовуються як аналогові входи для зняття показників із первинних перетворювачів. Додатково 6 цифрових каналів підтримують режим широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), що дозволяє здійснювати точне керування аналоговими периферійними пристроями. Комунікаційний потенціал мікроконтролера забезпечується наявністю одного апаратного каналу USART для організації послідовного серійного зв'язку, а також підтримкою стандартних промислових інтерфейсів SPI та I2C, які слугують для обміну даними з іншими мікросхемами та інтеграції модулів індикації.

До розширеного функціонала архітектури належать три вбудовані таймери-лічильники (два 8-бітові та один 16-бітовий), а також розвинена система обробки апаратних і програмних переривань, яка є критично важливою для ефективною координації завдань та швидкого відгуку системи на зовнішні події. Важливою перевагою мікроконтролера є його низьке

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

енергоспоживання, що робить його оптимальним рішенням для побудови портативних пристроїв з автономним живленням [5].

На сьогоднішній день офіційним виробником та розробником мікроконтролерів ATmega328 є корпорація Microchip Technology, яка продовжила випуск даної серії після поглинання компанії Atmel. Цей чіп здобув світову популярність завдяки апаратній платформі Arduino (зокрема платі Arduino Uno), яка зробила його базовим стандартом для швидкого прототипування, систем домашньої автоматизації (розумний будинок), концепцій Інтернету речей (IoT) та різноманітних аматорських DIY-проектів. Завдяки збалансованим характеристикам та простоті програмування, ATmega328 ефективно впроваджується у спеціалізовані системи контролю якості на підприємствах парфумерно-косметичної галузі, де забезпечує надійне автоматизоване керування процесами вимірювання фізико-хімічних параметрів продукції.

4.2. Опис обраного датчика рН

Для забезпечення високої точності та стабільності вимірювань у розроблюваній комп'ютеризованій системі використовується потенціометричний метод визначення водневого показника. Фізико-хімічні властивості досліджуваних косметичних засобів потребують застосування надійного первинного перетворювача, здатного працювати у середовищах різної в'язкості. Зовнішній вигляд, конструктивні особливості та габаритні розміри обраного вимірювального комплексу детально представлено на наведених нижче ілюстраціях (рис. 4.3 та рис. 4.3).

Основним елементом вимірювального тракту є комбінований скляний електрод, який підключається до спеціалізованої плати узгодження сигналів. Цей модуль виконує функцію високоомного буферного підсилювача, що трансформує надслабку електрорушійну силу (ЕРС) датчика у лінійну аналогову напругу, зрозумілу для вбудованого аналого-цифрового

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

перетворювача мікроконтролера. Взаємне розташування елементів на друкованій платі, інтерфейсні роз'єми для підключення живлення та лінії зняття вихідного сигналу зображено на схемах структури модуля.



Рисунок 4.3. (Аналоговий датчик рН для Arduino)

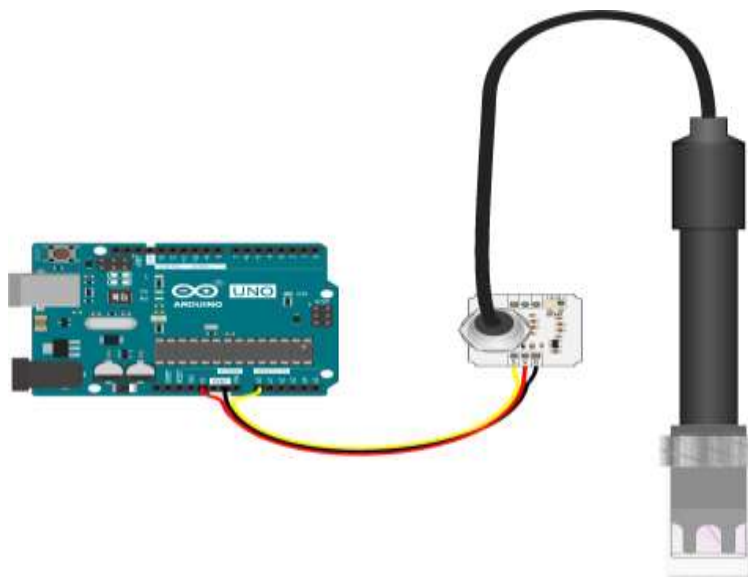


Рисунок 4.4. Схема підключення аналогового датчика рН

Вихідний аналоговий сигнал з плати узгодження сенсора є лінійним і може бути безпосередньо зчитаний за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Вихідна напруга модуля змінюється в діапазоні 0–5 В, що лінійно відповідає повному вимірювальному діапазону водневого показника від 0 до 14 одиниць рН, охоплюючи всі можливі стани кислотності та лужності досліджуваних середовищ. Допустимий температурний діапазон стабільного функціонування первинного перетворювача становить від 0°C до 60°C, що дозволяє експлуатувати прилад у різноманітних лабораторних та виробничих умовах. Для компенсації часового дрейфу характеристик скляного електрода та забезпечення стабільно високої точності вимірювань у процесі тривалої експлуатації передбачено процедуру періодичного градуювання системи за допомогою стандартних фіксаміналів (буферних розчинів) з відомими значеннями кислотності.

Завдяки своїй здатності оперативно та точно визначати активність іонів водню, аналогові рН-сенсори отримали широке розповсюдження у багатьох галузях промисловості та наукових досліджень. У хімічній індустрії вони застосовуються для безперервного моніторингу реакцій, що вимагають суворого дотримання кислотно-лужного балансу. У сільському господарстві такі датчики допомагають аналізувати параметри ґрунтів і поживних розчинів, що є критичним для оптимізації росту рослин. На водоочисних станціях та об'єктах житлово-комунального господарства сенсори забезпечують постійний контроль якості питної води та стічних вод. Також вони є невід'ємною складовою харчової промисловості, де контролюють параметри сировини та готових продуктів для гарантування їхньої безпеки, та науково-дослідних лабораторій, де використовуються для прецизійного аналізу рідких сумішей [6].

Основними світовими розробниками та постачальниками надійних засобів потенціометричного аналізу та сумісних з мікропроцесорною технікою модулів є такі бренди, як DFRobot, який спеціалізується на уніфікованих рішеннях для швидкого інженерного прототипування, та Atlas Scientific, відомий своїми прецизійними сенсорними системами підвищеної точності. Також значну нішу на ринку займають вимірювальні плати серії

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Gravity, які завоювали популярність серед розробників та інженерів завдяки оптимальному співвідношенню надійності, простоти інтеграції та доступності електронних компонентів. Збалансовані характеристики цих модулів дозволяють ефективно впроваджувати їх у комп'ютеризовані системи технічного контролю, зокрема для моніторингу показників якості парфумерно-косметичних засобів на етапі виробництва.

4.3. Опис обраного дисплея

Для візуалізації результатів вимірювань та забезпечення зручної взаємодії оператора з приладом у системі використано графічний індикатор. Зовнішній вигляд, розташування виводів та габаритні розміри обраного модуля відображено на наведеному нижче рисунку (рис. 4.5, 4.6).



Рисунок 4.5. Дисплей Adafruit SSD1306

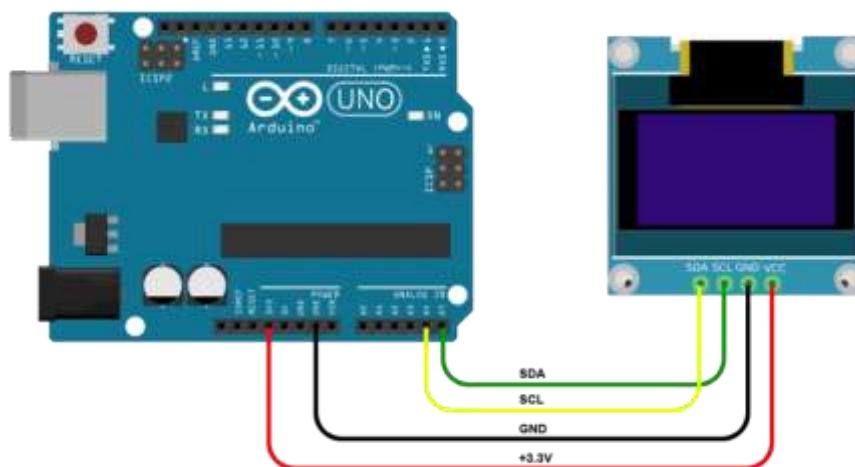


Рисунок 4.6. Схема підключення дисплея

Графічний дисплей Adafruit SSD1306 128x64 OLED Display – це компактний, енергоефективний пристрій індикації, який використовує технологію органічних світлодіодів для створення чіткого та висококонтрастного зображення без потреби у додатковому підсвічуванні. Завдяки низькому споживанню струму, широким кутам огляду та підтримці послідовного інтерфейсу зв'язку, він ідеально підходить для проектів на базі платформ Arduino, Raspberry Pi та інших популярних мікроконтролерів, дозволяючи оптимізувати простір усередині портативного корпусу.

Характеристики:

- Розмір: 128 x 64 пікселі;
- Тип дисплея: OLED;
- Роздільна здатність: 128 x 64 пікселі;
- Крок пікселя: 0.125 мм;
- Область огляду: 160°;
- Контрастність: 1000:1;
- Частота оновлення: 80 Гц;
- Інтерфейс: I2C або SPI;
- Напруга живлення: 3.3В – 5В;
- Споживання струму: 20 мА (типове);
- Робоча температура: -40°C до 80°C;
- Розміри: 30 x 25 x 3 мм;
- Вага: 3 г [7].

4.4. Опис обраного динаміка

Для забезпечення звукової сигналізації про режими роботи пристрою та оперативного сповіщення користувача в архітектуру системи інтегровано модуль акустичного виводу даних. Конструктивні параметри, геометричні

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

розміри та зовнішній вигляд обраного компонента наведено нижче (рис. 4.7, 4.8).



Рисунок 4.7. Динамік Adafruit SPKR-8 Mini 8 Ohm Speaker

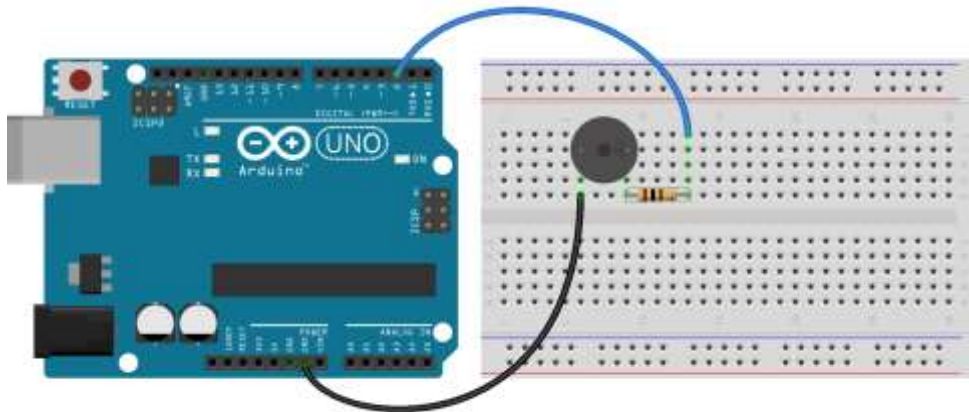


Рисунок 4.8. Схема підключення динаміка

Графічний мініатюрний динамік Adafruit SPKR-8 Mini 8 Ohm Speaker – це компактний, простий у фізичній інтеграції та експлуатації акустичний випромінювач, який ідеально підходить для інженерних проєктів на базі платформи Arduino та є повністю сумісним із мікроконтролером ATmega328. Завдяки номінальній потужності 0.5 Вт та внутрішньому опору котушки 8 Ом, цей модуль забезпечує оптимальний баланс між гучністю звукового сигналу та споживанням енергії, що робить його раціональним вибором для різних портативних застосувань і систем автоматизації.

Технічні характеристики:

- Тип: Динамік;
- Розмір: 25 x 25 x 10 мм;

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- Вага: 3 г;
- Потужність: 0.5 Вт;
- Опір: 8 Ом;
- Чутливість: 88 дБ;
- Діапазон частот: 200 Гц - 10 кГц;
- Інтерфейс: Аналоговий;
- Напруга живлення: 3В – 5В;
- Споживання струму: 50 мА (максимальне);
- Розміри: 25 x 25 x 10 мм [8].

4.5. Опис обраної кнопки

Для забезпечення можливості ручного керування, ініціалізації вимірювальних процесів та налаштування параметрів приладу оператором у схему пристрою впроваджено електромеханічний комутаційний елемент. Габаритні розміри, конфігурацію виводів для монтажу на плату та зовнішній вигляд цього компонента представлено нижче (рис. 4.9, 4.10).

Комутаційна кнопка TL1105BF160Q – це мініатюрний перемикач моментальної дії, що належить до класу так званих "тактильних" (тактових) кнопок.



Рисунок 4.9. Кнопка TL1105BF160Q

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Кнопка широко використовується в сучасній мікропроцесорній техніці та різноманітних електронних пристроях для надійної комутації низьковольтних сигнальних ланцюгів, оперативного перемикання режимів роботи, навігації по меню або виклику визначених програмних подій у мікроконтролері ATmega328. Механічна конструкція виробу розроблена для забезпечення чіткого тактильного відчуття моменту спрацьовування та гарантує високу стабільність роботи інтерфейсу користувача.

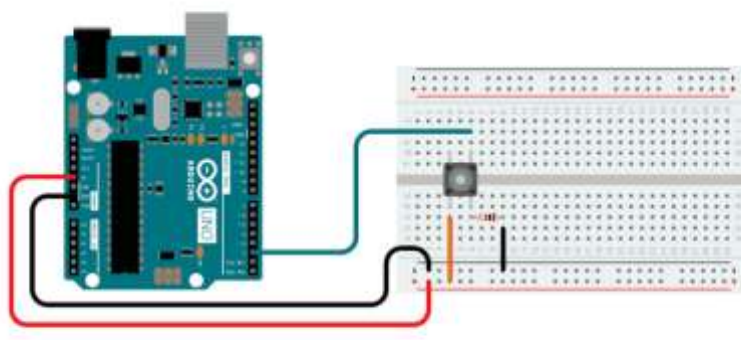


Рисунок 4.10. Схема підключення кнопки

Технічні характеристики:

- Загальні дані: модель TL1105BF160Q серії TL1105 від виробника E-Switch;
- Тип пристрою: тактильний перемикач моментальної дії з відчутним тактильним «кліком»;
- Електричні параметри: комутація напруги до 12 В постійного струму (DC) при максимальному струмі до 50 мА та опорі контактів ≤ 100 мОм;
- Механічні властивості: зусилля натискання становить 160 г, а гарантований термін служби досягає 100 000 циклів;
- Конструктивні параметри: компактні габарити корпусу ($6.2 \times 6.2 \times 6.5$ мм, матеріал основи – поліамід (Nylon), контакти виготовлені зі срібла (Ag);

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

– Монтаж та експлуатація: призначена для поверхневого монтажу (SMT) та стабільно функціонує в температурному діапазоні від -20°C до +70°C [9].

4.6. Опис обраного блоку живлення

Для забезпечення стабільної та безперебійної роботи всіх апаратних модулів комп'ютеризованої системи контролю якості було проведено детальний аналіз вимог до номінальної напруги живлення кожного інтегрованого компонента. Складові частини системи мають такі параметри споживання:

- Мікроконтролер ATmega328: робочий діапазон напруги становить 1.8 - 5.0 В;
- Аналоговий вимірювальний датчик рН: стабільно функціонує в діапазоні напруг 3.3 - 5.0 В;
- Графічний дисплей Adafruit SSD1306 OLED: адаптований під логічний рівень та напругу живлення 5.0 В;
- Акустичний динамік Adafruit SPKR-8: оптимально функціонує при напрузі до 4.8 В;
- Тактильна кнопка керування TL1105BF160Q: комутує сигнальні рівні напруги 3.3 - 5.0 В.

З огляду на необхідність забезпечення повної мобільності приладу під час проведення експрес-аналізів у лабораторних та цехових умовах, як інтегроване джерело енергії було обрано автономний літій-полімерний модуль Adafruit 328 Li-Pro (Li-Po) із вбудованою системою керування та підвищення напруги рис.4.11.

Обране автономне джерело живлення базується на літій-полімерній (Li-Po) технології, що забезпечує значну номінальну ємність у 2500 мАг при збереженні ультракомпактних геометричних розмірів корпусу (60х50х7 мм) та мінімальної ваги. Вхідна напруга самого акумулятора в процесі роботи варіюється у стандартних межах від 3.7 В до 4.2 В.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

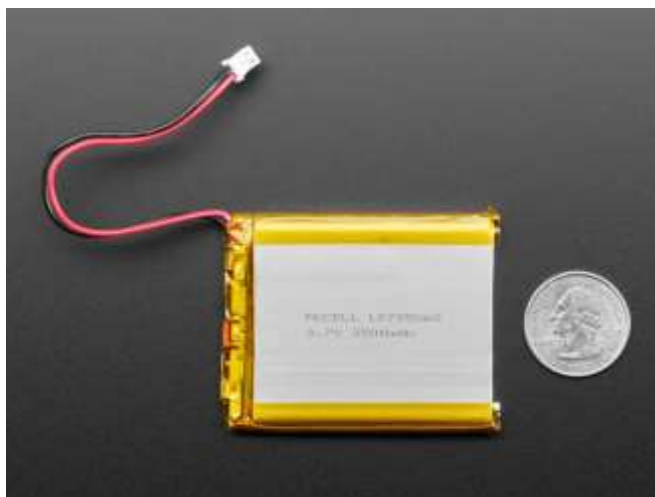


Рисунок 4.11. Блок живлення Adafruit 328 Li-Pro

Головною перевагою модуля Adafruit 328 Li-Pro є інтегрований на платі імпульсний DC-DC перетворювач, який ефективно трансформує базову напругу батареї у стабільні вихідні рівні 3.7 В та 5.5 В. Модуль здатний віддавати максимальний вихідний струм до 1 А для ліній низької напруги та до 500 мА для п'ятивольтової лінії живлення, що повністю перекриває сумарні пікові потреби мікроконтролера, динаміка, OLED-матриці та всього масиву підключених сенсорів. Наявність інтегрованого контролера з інтерфейсом USB дозволяє безпечно та швидко відновлювати заряд акумулятора від будь-якого стандартного зовнішнього адаптера, роблячи пристрій надійним та зручним у повсякденній практичній експлуатації [10, 11,12].

4.7. Побудова принципової схеми

На базі обґрунтованих апаратних складових, алгоритму функціонування та раніше розробленої структурної схеми було побудовано електричну принципову схему вимірювальної системи, яка детально ілюструє фізичне з'єднання всіх електронних елементів. Принципова схема представлена на рис.4.12.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

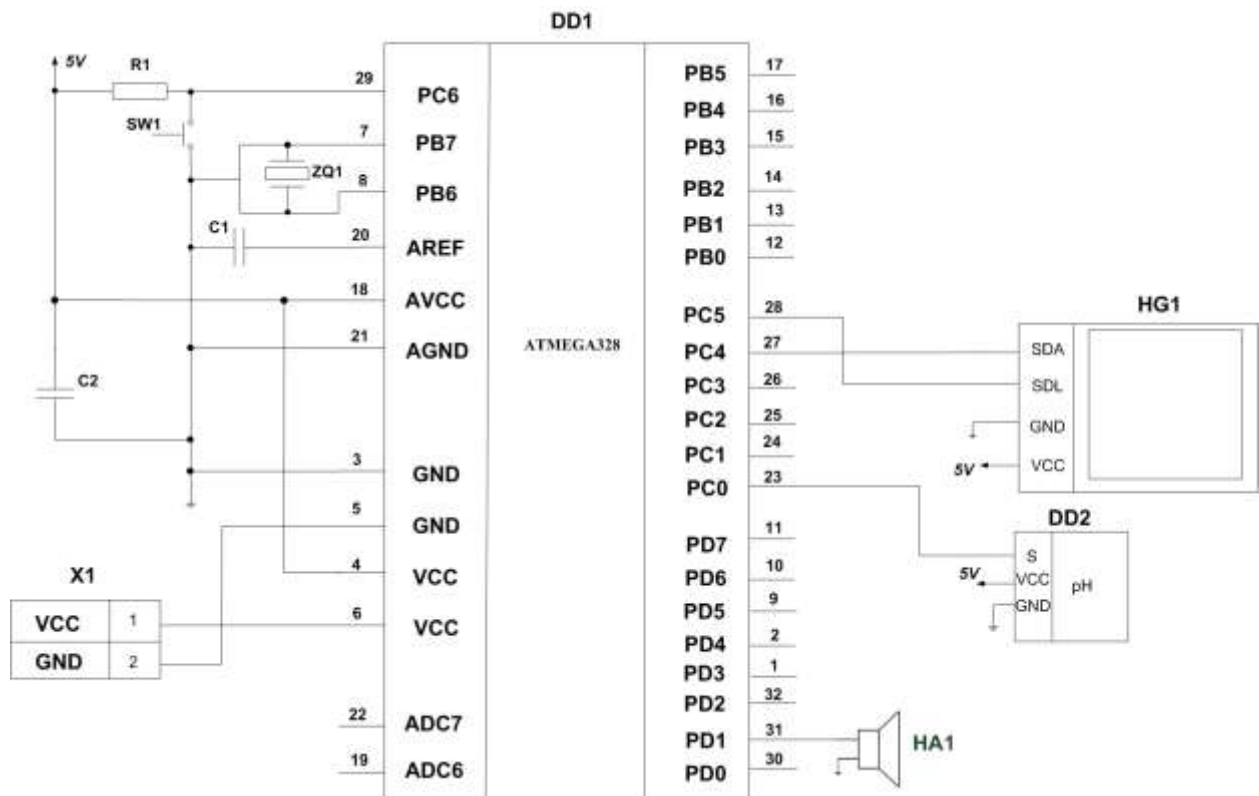


Рис.4.12. Принципова схема системи

Перелік елементів:

- DD1 – мікроконтролер Atmega328;
- DD2 – датчик кислотності pH;
- HG1 – дисплей Adafruit SSD1306;
- SB1 – тактова кнопка TL1105BF160Q;
- R1 – 1 кОм;
- C1 – 100нФ;
- C2 – 4,7мкФ;
- ZQ1 – кварцевий резонатор 16 МГц;
- X1 – роз'єм для акумулятора 5 В.

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1 Розробка алгоритму

Алгоритм функціонування розробленої системи контролю якості (рис. 5.1) орієнтований на циклічний моніторинг водневого показника середовища з можливістю оперативного звукового та візуального сповіщення оператора. Програма реалізує послідовне опитування датчика, верифікацію отриманих даних на відповідність встановленим технологічним межам та адаптивне виведення результатів на графічний інтерфейс.

Покроковий опис роботи алгоритму:

1. Початок: Апаратне ввімкнення вимірювального пристрою та запуск системного завантажувача.

2. Ініціалізація: Налаштування внутрішньої периферії мікроконтролера ATmega328. На цьому етапі конфігуруються регістри загального призначення, оголошуються глобальні змінні, визначаються бітові маски, ініціалізуються інтерфейси зв'язку (I2C для OLED-дисплея) та налаштовуються таймери.

3. Опитування кожні 30 секунд: Програмний блок організації часової затримки. За допомогою вбудованого таймера система переходить у стан очікування для забезпечення дискретності вимірювань кожні 30 секунд, що оптимізує енергоспоживання та ресурс сенсора.

4. Умова "ТК=1?": Блок перевірки стану кнопки та живлення. Якщо кнопку не натиснуто або пристрій взагалі вимкнули (Ні), програма миттєво переходить до блока «Кінець» і завершує свою роботу. Якщо ж живлення подано і кнопку натиснуто (Так), прилад переходить до наступного кроку — зчитування даних із датчика.

5. Зчитування датчика рН: Активація вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для зняття аналогового сигналу з плати узгодження потенціометричного датчика та його подальший математичний перерахунок у реальні одиниці рН.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

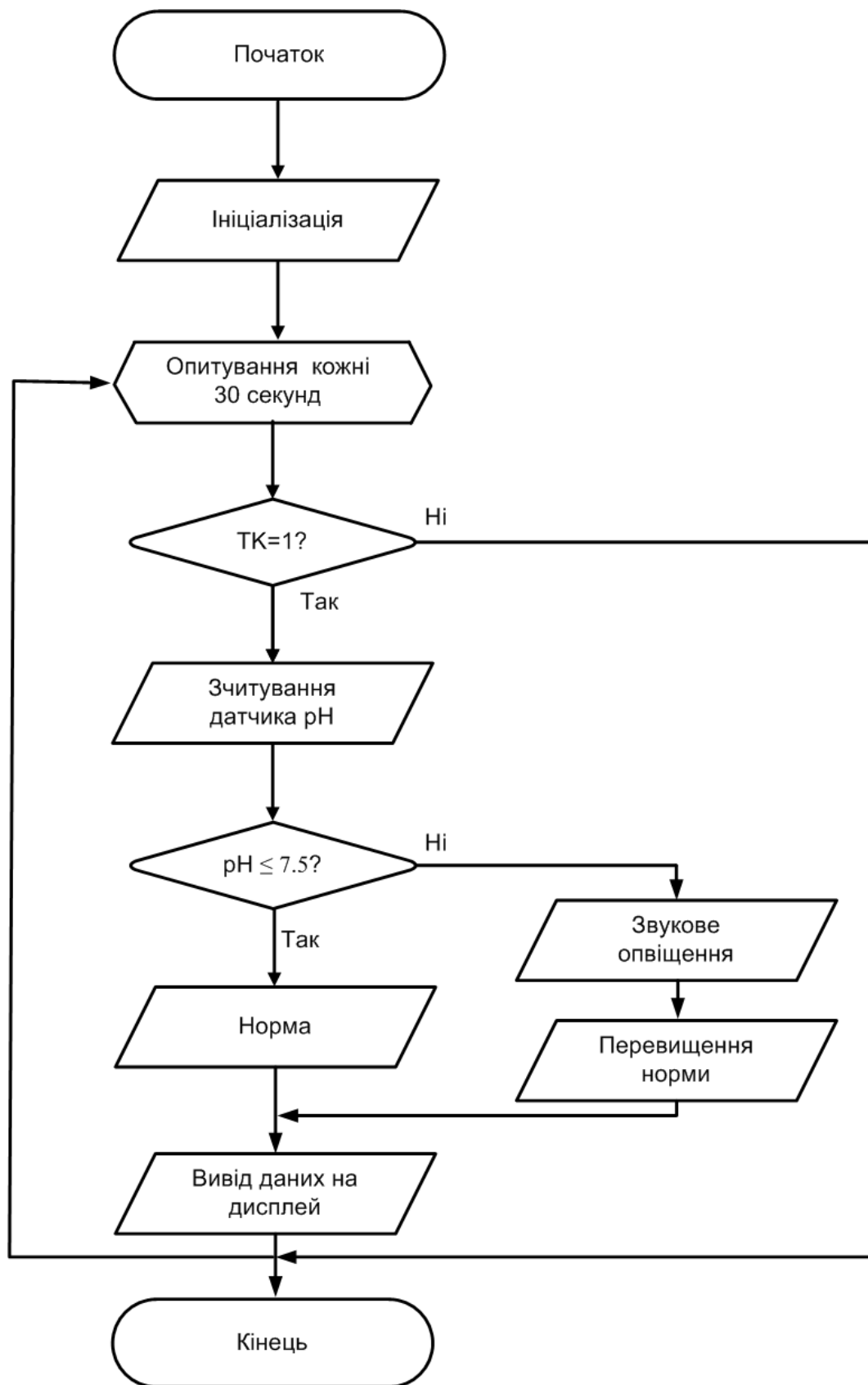


Рис. 5.1 – Блок схема алгоритму системи

6. Умова " $pH \leq 7.5$?": Ключовий логічний предикат верифікації якості. Програма порівнює поточне значення pH із верхнім допустимим порогом нормального стану для досліджуваної косметичної продукції (у даному випадку – 7.5):

– Гілка "Так" (Норма): Якщо показник міститься в межах норми, фіксується штатний статус системи («Норма»), і програма переходить до кадру індикації.

– Гілка "Ні" (Перевищення норми): У разі виходу параметра за встановлену межу, ініціюється підпрограма «Звукове опвіщення» через динамік Adafruit SPKR-8 для генерації тривожного сигналу, після чого фіксується статус «Перевищення норми».

7. Вивід даних на дисплей: Обидва логічні потоки знову об'єднуються в блоці індикації, де на екран Adafruit SSD1306 OLED виводяться поточні числові значення водневого показника та текстове повідомлення про стан аналізованої проби (норма/перевищення).

8. Кінець: Фінальний етап алгоритму, який означає повну зупинку роботи пристрою та припинення подачі живлення на всі апаратні модулі системи. Якщо ж пристрій не знеструмлено, цей блок забезпечує перехід системи у режим очікування до початку наступного 30-секундного інтервалу опитування датчика.

5.2 Розробка програми

Для розробки програмного забезпечення мікроконтролера ATmega328, що реалізує алгоритм роботи комп'ютеризованої системи контролю якості косметичної продукції, було обрано високорівневу мову програмування C (Cі).

Мова C була створена у 1972 році Денісом Рітчі в Bell Labs як універсальний інструмент для системного програмування. Завдяки своїй архітектурній гнучкості вона стала базовою платформою для розробки вбудованих систем і програмування мікроконтролерів.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Вибір цієї мови для реалізації проєкту зумовлений такими чинниками:

- Висока ефективність та швидкодія: компільований код мови C відрізняється максимальною швидкістю виконання та мінімальним обсягом, що є критично важливим для обробки вимірювальних сигналів у режимі реального часу.
- Прямий доступ до апаратних ресурсів: мова дозволяє виконувати низькорівневі операції, зокрема здійснювати безпосереднє керування регістрами мікроконтролера, налаштовувати АЦП для зчитування показників датчика рН та конфігурувати таймери для 30-секундного інтервалу опитування.
- Компактність коду: програми на мові C займають мінімальний обсяг флеш-пам'яті (Flash) та оперативної пам'яті (SRAM). В умовах обмежених апаратних ресурсів кристала ATmega328 (32 КБ Flash та 2 КБ SRAM) це дозволяє оптимізувати розміщення коду програми та шрифтів для OLED-дисплея.
- Модульність структури: архітектура мови дозволяє розділяти програмний комплекс на окремі функціональні блоки (модулі), що забезпечує чітку та логічну структуру проєкту.
- Ефективна робота з пам'яттю за допомогою вказівників: наявність механізму покажчиків дозволяє оперативно маніпулювати адресами пам'яті та оптимізувати алгоритми математичних обчислень.
- Повна апаратна сумісність: мова C повністю підтримується промисловим крос-компілятором AVR-GCC, який є стандартним інструментом для розробки та збирання прошивок мікроконтролерів сімейства AVR RISC.

Для забезпечення високої читаваності, надійності та простоти налагодження вихідний код програми буде розділено на окремі логічні частини. Взаємодія з кожним периферійним пристроєм — зчитування аналогового сигналу з плати узгодження рН-електрода, виведення графічних даних на OLED-дисплей Adafruit SSD1306, генерація звукових частот на

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

динамік Adafruit SPKR-8 та обробка стану кнопки тактового контролю — буде реалізована у вигляді ізольованих спеціалізованих функцій та підпрограм.

Датчик рН зазвичай використовує аналоговий вихід для передачі даних до мікроконтролера. Я буду використовувати аналогово-цифровий перетворювач (ADC) для зчитування значень.

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#define PH_SENSOR_CHANNEL 0 // Канал ADC для датчика рН
void init_adc() {
    ADMUX = (1 << REFS0); // Вибір AREF, внутрішнього 5V напруги живлення
    ADCSRA = (1 << ADEN) | (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); //
Включення ADC, прескейлер 128
}
uint16_t read_adc(uint8_t channel) {
    ADMUX = (ADMUX & 0xF8) | (channel & 0x07); // Вибір каналу ADC
    ADCSRA |= (1 << ADSC); // Початок конвертації
    while (ADCSRA & (1 << ADSC)); // Очікування завершення конвертації
    return ADC
}
uint16_t read_ph() {
    return read_adc(PH_SENSOR_CHANNEL);
}
```

Для налаштування OLED-дисплею використовуватимемо бібліотеки Wire.h та Adafruit_SSD1306.h.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
// Налаштування розмірів дисплея
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
// Оголошення об'єкта дисплея
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
void setup_display() {
    // Ініціалізація дисплея з перевіркою
```

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

```

if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for (;;) // Безкінечний цикл у разі помилки
}
display.display(); // Відображення буферу дисплея
delay(2000); // Затримка для візуалізації екрану
display.clearDisplay(); // Очищення дисплея
// Виведення початкового повідомлення
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.print("OLED Display Ready");
display.display();
}

```

Для налаштування кнопки використовуватимемо один з цифрових входів Arduino з використанням внутрішнього підтягуючого резистора.

```

// Налаштування піну для кнопки
#define BUTTON_PIN 2
void setup_button() {
    pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP); // Встановлення режиму піну з
    підтягуючим резистором
}
bool is_button_pressed() {
    return digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW; // Повертає true, якщо кнопка натиснута
}

```

Налаштування динаміка (Adafruit SPKR-8 Mini 8 Ohm Speaker)

Для налаштування динаміка будемо використовувати один з цифрових виходів Arduino та функцію tone().

```

// Налаштування піну для динаміка
#define SPEAKER_PIN 9
void setup_speaker() {
    pinMode(SPEAKER_PIN, OUTPUT); // Встановлення режиму піну як вихід
}
void play_sound(int frequency, int duration) {

```

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

```
tone(SPEAKER_PIN, frequency, duration); // Відтворення звуку з заданою частотою  
та тривалістю  
}
```

Розроблене програмне забезпечення для мікроконтролера ATmega328 містить набір спеціалізованих функцій, які забезпечують чітку взаємодію з апаратними модулями системи та реалізують закладений алгоритм роботи. Для підготовки аналого-цифрового перетворювача до роботи використовується функція ініціалізації АЦП, яка виконує конфігурацію регістрів для роботи з опорною напругою та встановлює коефіцієнт ділення прескейлера на значення 128, що гарантує високу точність квантування вимірювальних сигналів. Безпосереднє зчитування даних із плати узгодження потенціометричного датчика здійснюється за допомогою базової функції читання аналогових даних з обраного каналу мікроконтролера, на основі якої працює спеціалізована функція визначення водневого показника, що перераховує отриманий цифровий код у реальні одиниці рН.

Важливою складовою інтерфейсу користувача є функція налаштування та роботи з графічним OLED-дисплеєм Adafruit SSD1306, яка відповідає за первинну ініціалізацію екрана по шині I2C, очищення відеобуфера та виведення стартового вітання. Для відображення поточних вимірювань використовується окрема підпрограма, яка трансформує розраховані числові значення рН та текстові статуси системи у графічні рядки і виводить їх на екран приладу.

Апаратний контроль стану системи покладено на функцію конфігурації комутаційного елемента, яка переводить відповідний вивід мікроконтролера в режим входу з активацією внутрішнього підтягуючого резистора, а супутня функція перевірки стану тактильної кнопки TL1105BF160Q дозволяє програмно фіксувати факт її натискання та наявність живлення в ланцюзі тактового контролю для виконання умови переходу до вимірювань. Робота підсистеми сповіщення забезпечується функцією налаштування динаміка, яка конфігурує керуючий пін мікроконтролера як цифровий вихід, та функцією

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

звукової індикації, що у разі виходу показника рН за межу 7.5 генерує на динамік Adafruit SPKR-8 імпульси заданої частоти та тривалості для формування чіткого сигналу тривоги. Налаштована взаємодія всіх цих функцій у єдиному циклі з 30-секундною затримкою таймера дозволяє приладу стабільно функціонувати в автоматичному режимі.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1 Розробка друкованої плати

Проектування топології двошарової друкованої плати та формування супутньої схемотехнічної документації комп'ютеризованої системи здійснювалося у спеціалізованому середовищі автоматизованого проектування EasyEDA. Цей хмарний інженерний комплекс має повний спектр інтегрованих інструментів для наскрізного проектування, що дозволяє ефективно виконувати розміщення компонентів і трасування провідників для високощільних друкованих плат електронних пристроїв. Завдяки стандартизованому інтерфейсу, наявності покрокових інструкцій та розширеному функціоналу верифікації правил проектування (DRC), дане середовище повністю задовольняє сучасні вимоги до розробки засобів мікропроцесорної техніки та є раціональним вибором для успішної реалізації інженерних проєктів.

Розроблена друкована плата пристрою контролю якості характеризується такими конструктивними та схемотехнічними параметрами:

- Базовий обчислювальний елемент: мікроконтролер ATmega328 у компактному корпусі для поверхневого монтажу (габаритні розміри мікросхеми становлять 10x10 мм;
- Комутаційні роз'єми та інтерфейсні зони: посадкове місце HG1 для підключення графічного OLED-дисплея з діагоналлю 0.96 дюйма по шині I2C, контактні майданчики SB1 для кнопки тактового контролю, виводи HA1 для акустичного динаміка Adafruit SPKR-8, а також спеціалізовані інтерфейсні роз'єми для інтеграції плати узгодження потенціометричного датчика pH;
- Підсистема стабілізації та фільтрації: інтегрований лінійний стабілізатор напруги ZQ1, а також пасивні компоненти обв'язки – блокувальні й фільтруючі конденсатори C1 та підтягуючі резистори R1;
- Конструктивні особливості: при розрахунку топології плати було суворо враховано технічні зазори, ізоляційні бар'єри та зони кріплення (технічну зону);

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

– Геометричні параметри: фізичні розміри розробленої друкованої плати становлять 33x76 мм, при цьому сама плата виконана за двошаровою технологією (з двостороннім розташуванням струмопровідних доріжок), що дозволило досягти максимальної компактності пристрою та мінімізувати паразитні наведення [13].

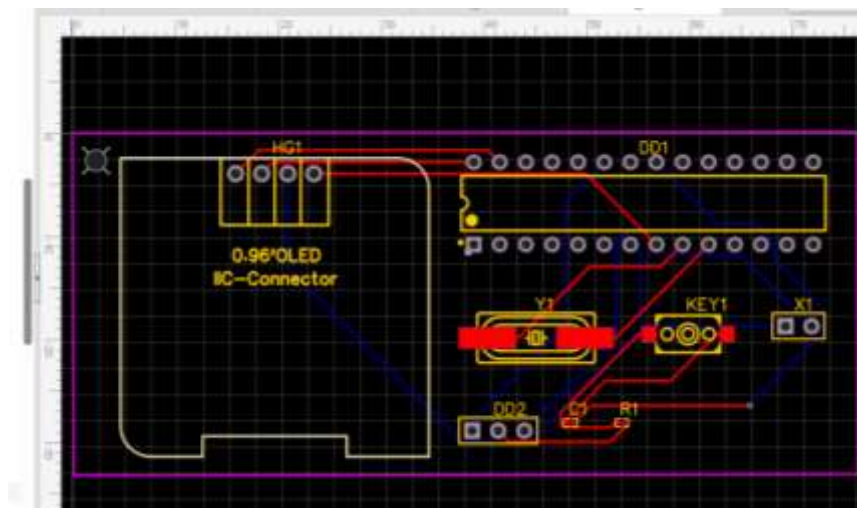


Рис. 6.1 Перший шар плати

На рисунку 6.1 видно верхній шар плати, де червоні доріжки відповідають за сигнальні шляхи, а жовті позначають межі компонентів.

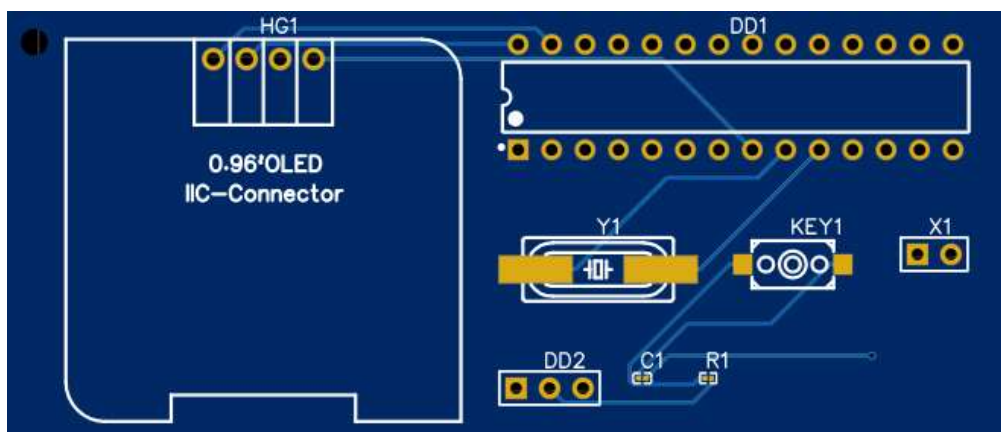


Рис. 6.2 Першой шар плати

На рисунку 6.2 показано плату з розміщеними компонентами та доріжками, виконану в синьому кольорі.

На рисунку 6.3 показаний нижній шар плати, де сині доріжки відповідають за з'єднання між компонентами.

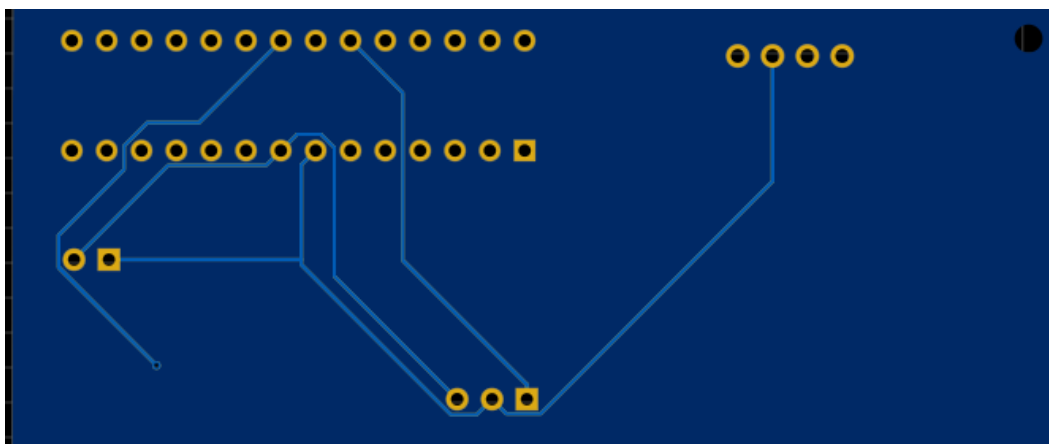


Рис. 6.3 Другий шар плати

На рис.6.4 представлено 3Д візуалізація друкованої плати з елементами.

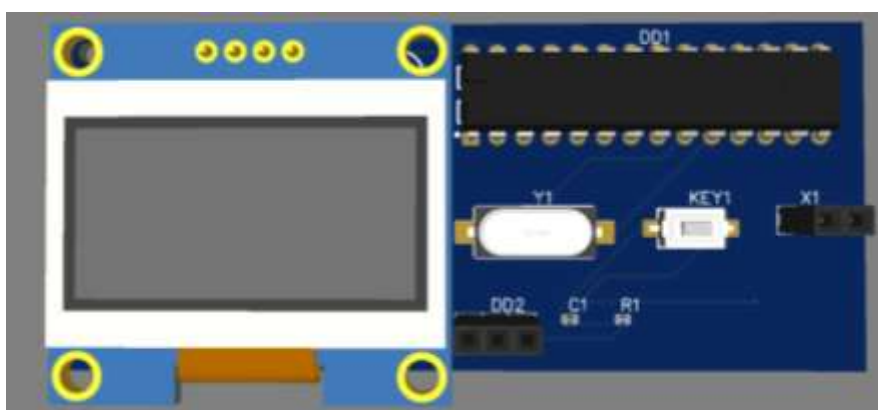


Рис 6.4 3D вигляд плати

Розроблювана комп'ютеризована система контролю якості косметичної продукції за своєю конструктивною архітектурою є одноплатною та портативною. Вибір конструктиву пристрою здійснювався за критеріями забезпечення максимальної ергономічності, простоти збирання, надійності захисту електронних компонентів та мінімальної собівартості виробництва.

Для захисту апаратної частини було обрано пластиковий захисний корпус із загальними внутрішніми габаритними розмірами 35x80x20 мм, які розраховані шляхом додавання вільного розміщення внутрішніх дрітків,

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

елементів кріплення та периферійних вузлів всередині оболонки. Таке конструктивне розширення оболонки на декілька см з кожного боку відносно лінійних розмірів друкованої плати зумовлене передусім необхідністю внутрішньої інтеграції автономного літій-полімерного акумулятора. Оскільки розроблювана система проектується як портативний мобільний прилад, наявність вбудованого джерела живлення є обов'язковою вимогою, а додатковий внутрішній простір дозволяє безпечно зафіксувати батарею на тильній стороні плати, забезпечити вільне прокладання силових дротів без їхнього залому та створити необхідний повітряний прошарок для пасивної термоізоляції вимірювальних ланцюгів мікроконтролера.

У корпусі пристрою передбачено такі конструктивні доопрацювання та отвори:

- На лицьовій (передній) панелі пластикового корпусу виконано прямокутний проріз спеціально під геометричні розміри робочого поля графічного OLED-дисплея, а також один круглий отвір діаметром 4 мм під штовхач тактильної кнопки тактового контролю (ТК);

- На одній із бічних граней корпусу фрезерується технологічна зона для виведення інтерфейсного USB-роз'єму, призначеного для підключення кабелю живлення мікроконтролера та заряджання акумулятора, а також невеликий отвір діаметром 1 { мм для візуального контролю світлодіодного індикатора процесу зарядки;

- На протилежній або верхній частині корпусу передбачено спеціалізований вивід (паз) для виходу інтерфейсного кабелю до виносної плати узгодження потенціометричного датчика рН, щоб забезпечити зручне занурення електрода в аналізовану косметичну пробу.

- Внутрішнє компонування елементів реалізовано за модульним принципом. Графічний OLED-дисплей фіксується безпосередньо над друкованою платою за допомогою пористого двостороннього скотчу товщиною 1мм, що забезпечує амортизацію та надійне прилягання екрана до

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

лицьової панелі. Друкована плата позиціонується всередині корпусу таким чином, щоб USB-роз'єм чітко збігався з бічним прорізом.

– Для жорсткої фіксації та запобігання люфтам при натисканні кнопки, плата з внутрішньої сторони спирається на опорну гайку гвинта М3, закріпленого на стінці корпусу. Автономне джерело живлення (акумулятор) також компактно кріпиться до тильної сторони друкованої плати за допомогою пористого скотчу. При цьому роз'єм підключення акумулятора монтується під невеликим кутом до площини плати, що дозволяє уникнути механічних перекосів і гарантує безперешкодне та щільне закриття задньої кришки корпусу.

6.2 Розрахунки похибок.

Визначення кислотності рН та концентрації спирту в розчині

Проведено десять повторних вимірювань аналоговим датчиком рН, діапазон кислотності рН виміру згідно технічних характеристик від 0 до 14.

Було отримано наступну вибірку:

рН =(6.82,6.85,6.80,6.83,6.81,6.84,6.82,6.86,6.80,6.83)

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне Т за (6.1):

$$\overline{pH} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} pH_i \cong 6.826 \quad (6.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔpH_i та ΔpH_i^2 (6.2):

$$\begin{aligned} \Delta pH &= |\overline{pH} - pH_i| \text{ та } \Delta pH_i^2 \\ &= (\overline{pH} - pH_i)^2, \\ &\text{де } i = 1, 2 \dots 10; \end{aligned} \quad (6.2)$$

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 6.1.

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 6.1.

№ з. п.	pH	ΔpH_i	ΔpH_i^2
1	6,82	0,006	0,000036
2	6,85	0,024	0,000576
3	6,80	0,26	0,000676
4	6,83	0,004	0,000016
5	6,81	0,016	0,000256
6	6,84	0,014	0,000196
7	6,82	0,006	0,000036
8	6,86	0,034	0,001156
9	6,80	0,026	0,000676
10	6,83	0,004	0,000016
сер	6,83	0,016	0,000364

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (6.1);

розрахуємо за (6.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\overline{pH} - pH_i)^2} \approx 0,0144$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B pH = 2,26 * 0,0144 = 0,0325$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 6.1)

1) похибку приладу за (6.3):

$$\Delta_{пр} pH = \frac{1}{300} t_p k T_{гр} \quad (6.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 6.1 знайдемо при умові $pH_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $pH_{гр} = 12$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{пр} pH = \frac{1}{300} 2,0 * 12 * 1 \approx 0,08;$$

2) похибку заокруглення за (6.4):

$$\Delta T_3 = P \frac{h}{2}. \quad (6.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду вимірюної величини – 0,05. Отже:

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta T_3 = 0,95 * \frac{0,01}{2} \approx 0,00475;$$

3) загальну абсолютну похибку (6.5):

$$\begin{aligned} \Delta pH &= \sqrt{(\Delta_B pH)^2 + (\Delta_{\text{п}} pH)^2 + (\Delta_3 pH)^2} = \\ &= \sqrt{0,0325^2 + 0,093^2 + 0,00475^2} \approx 0,099 \end{aligned} \quad (6.5)$$

4) Відносну похибку (6.6):

$$\delta = \frac{\Delta}{\bar{X}} * 100\%$$

де Δ - загальна абсолютна похибка, а $\bar{X}$ - середнє арифметичне значення вимірюваної величини.

$$\delta pH = \frac{\Delta pH}{pH} * 100\% = \frac{0,099}{6,826} * 100\% \approx 1.45\%$$

Кінцевий результат вимірювання записується у вигляді:

$$pH = (6,826 \pm 0,099); P = 0,95; \delta = 1,45\%$$

6.3 Розрахунок надійності системи

При розрахунку надійності визначалися наступні кількісні показники:

1. Імовірність безвідмовної роботи за заданий час $P(t)$;
2. Параметр потоку відмовлень $\lambda(t)$;
3. Середній наробіток до відмовлення T_e .

Безвідмовність – властивість системи неперервно зберігати працездатність впродовж заданого інтервалу часу. Звичайно визначається імовірність безвідмовної роботи за даний інтервал часу, що вибирається рівним 500, 1000 чи 2000 годин.

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – число відмовлень в одиницю часу, віднесене до числа елементів, що залишилися справними до початку даного інтервалу часу.

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Розрахунок показників надійності проводився методом λ - характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

- робочий діапазон температури від +15 до 45°C, відносна вологість в лабораторії до 85% при 25 °C;
- конструктивно виконано для роботи на зовні автомобіля без штучно регульованих кліматичних умов, вібростійкий.

Склад виробу – комп’ютеризована система вимірювання показника pH для контролю якості косметичних засобів.

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

При розрахунку надійності були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;
4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.6)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу проектного 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

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.7)$$

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 КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [14] з врахуванням вихідних даних для проектного виробу.

По формулі (6.6) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 7 таблиці 6.3):

$$\lambda = 67,64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.8)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [24].

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

Таблиця 6.2 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	1000	2000	5000	8000	10000	14000
0,981095	0,96219	0,943285	0,92438	0,85433	0,67462	0,5352	0,46143

На графіку,веденому на рис 6.6 приведена залежність надійності $P(t)$.

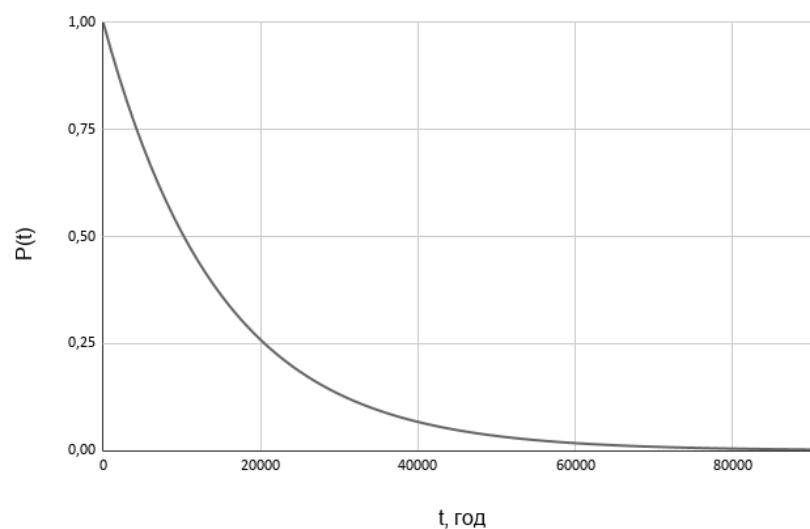


Рис.6.5 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t
Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.9)$$

Таблиця 6.3 – 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	Мікроконтролер				a_1	a_2	a_4	a_6	
	ATmega328	1	0,5	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	1,365
2	Датчики								
	Датчик рН	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	Дисплей								
	SSD1306 OLED	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
4	Динамік								
	SPKR-8 Mini 8 Ohm	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	Кнопка								
	TL1105BF160Q	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	Блок живлення								
	Adafruit 328 Li-Pro	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1	1			63
7	Разом								67,64

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо

$$T = (67,64 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14\,783 \text{ годин.}$$

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Законодавчі акти з охорони праці

Під час проектування, виготовлення, налагодження та подальшої експлуатації комп'ютеризованої системи контролю якості косметичної продукції правовою основою для забезпечення безпечних умов праці є чинне законодавство України. Оскільки робота над пристроєм пов'язана з монтажем електронних компонентів, програмуванням мікроконтролерів та проведенням хіміко-аналітичних вимірювань (тестування рН косметичних проб), ключовими нормативно-правовими актами є:

1. Закон України «Про охорону праці» — базовий закон, що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров'я у процесі трудової діяльності. Він регламентує обов'язки розробника та оператора системи щодо дотримання правил безпеки під час лабораторних та виробничих випробувань.

2. Кодекс законів про працю України (КЗпП) — регулює правові засади організації трудового процесу, визначає тривалість робочого часу та відпочинку при роботі з ПЕОМ (персональними електронно-обчислювальними машинами), а також встановлює вимоги до безпеки праці жінок та молоді, що актуально для галузі парфумерно-косметичного виробництва.

3. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благоубуду населення» — регламентує вимоги до якості повітря робочої зони, рівнів шуму, вібрації та освітленості в приміщеннях, де здійснюється розробка системи та аналіз косметичних засобів.

4. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» — визначає гігієнічні та ергономічні вимоги до організації робочого місця інженера-програміста під час написання та відлагодження коду для мікроконтролера ATmega328, а також параметри мікроклімату й освітлення при роботі за монітором.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

5. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» — встановлює жорсткі вимоги захисту від ураження електричним струмом під час роботи з лабораторним обладнанням, вимірювальними приладами, паяльними станціями та пристроями, що живляться від електромережі напругою 220 В.

6. ДСТУ EN 61010-1:2014 «Вимоги щодо безпеки електричного обладнання для вимірювання, керування та лабораторного застосування» — визначає стандарти безпеки безпосередньо для розроблюваного вимірювального приладу, захисту його кіл живлення, літій-полімерного акумулятора та плати узгодження рН-електрода.

7. ДНАОП 0.03-3.15-86 «Санітарні правила організації технологічних процесів та гігієнічні вимоги до виробничого обладнання» — регламентує безпечне поводження з хімічними речовинами (калібрувальними буферними розчинами рН) та досліджуваними зразками парфумерно-косметичної продукції [15].

Дотримання вимог зазначених законодавчих та нормативних актів є обов'язковим на всіх етапах життєвого циклу розроблюваного пристрою, що дозволяє мінімізувати ризики виникнення професійних захворювань, травматизму чи аварійних ситуацій.

7.2. Безпека життєдіяльності на підприємстві

Забезпечення безпеки життєдіяльності (БЖД) на підприємствах, де впроваджується та експлуатується комп'ютеризована система контролю якості косметичної продукції, передбачає комплекс організаційних і технічних заходів. Оскільки робота з пристроєм поєднує в собі експлуатацію мікропроцесорної техніки та виконання хіміко-аналітичних операцій у вимірювальній лабораторії, основні зусилля спрямовані на запобігання впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Основою безпеки життєдіяльності на підприємстві є чітка організація праці, яка включає:

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

– Проведення інструктажів: усі співробітники та оператори вимірювального комплексу допускаються до роботи лише після проходження вступного, первинного на робочому місці, а також планових повторних інструктажів з охорони праці та поводження з електроустановками й лабораторними реактивами.

– Режим праці та відпочинку: встановлення регламентованих перерв при тривалій роботі за комп'ютерним монітором (під час аналізу накопичених вимірювальних даних) для запобігання зоровому та нервово-емоційному перевтомленню.

– Наявність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): оскільки дослідження та калібрування датчика рН потребують взаємодії з рідкими косметичними масами та рідкими буферними розчинами, персонал забезпечується захисними халатами, нітриловими рукавичками та окулярами для запобігання потраплянню речовин на шкіру та слизові оболонки.

Для створення безпечного виробничого середовища під час експлуатації розробленого приладу реалізуються такі заходи:

– Електробезпека: попри те, що сам портативний пристрій та його плата узгодження рН живляться від безпечної низьковольтної напруги (літій-полімерний акумулятор), зарядні пристрої, паяльні станції та комп'ютерне обладнання підключаються до мережі 220 В. Усі розетки мають заземлювальний контур, а лінії живлення лабораторії оснащуються пристроями захисного вимкнення (ПЗВ) на випадок короткого замикання.

– Пожежна безпека: приміщення лабораторії комплектуються первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними вогнегасниками класу В і Е, які дозволено використовувати для гасіння електроустановок під напругою та хімічних речовин), а також автоматичною системою пожежної сигналізації.

– Параметри мікроклімату та вентиляція: у приміщенні контролю якості підтримуються оптимальні параметри температури (18-22°C), відносної вологості (40-60%) та швидкості руху повітря. Лабораторія обов'язково

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

обладнується загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією та місцевими витяжними шафами для безпечної підготовки проб косметичних засобів.

– Освітлення робочої зони: робочі місця, де здійснюється зчитування показників з OLED-дисплея та візуальний контроль парфумерно-косметичних зразків, проектуються із суміщенням (природним та штучним) освітленням. Рівень освітленості робочих поверхонь відповідає нормативним вимогам для точних зорових робіт (не менше 300–500 лк), що мінімізує втому очей оператора.

Впровадження цих заходів безпеки життєдіяльності дозволяє звести до мінімуму ризик виникнення позаштатних ситуацій, забезпечує стабільну роботу комп'ютеризованої системи та створює оптимальні, комфортні умови для персоналу підприємства [16, 17].

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання показника pH для контролю якості косметичних засобів. За результатами виконання роботи зроблено такі основні висновки роботи:

1. На основі огляду та порівняльного аналізу існуючих систем вимірювання рівні pH обґрунтовано доцільність розробки системи.

2. Розроблено структурну та принципову електричну схеми пристрою на базі мікроконтролера ATmega328. Як первинний перетворювач використано потенціометричний датчик pH із платою узгодження, а для інтерфейсу та сигналізації інтегровано кнопку і динамік Adafruit SPKR-8.

3. У середовищі EasyEDA спроектовано топологію двошарової друкованої плати розміром 33x76 мм, що містить зони підключення кварцевого резонатора, OLED-дисплея Adafruit SSD1306 та пасивних компонентів. Апаратну частину та літій-полімерний акумулятор розміщено у захисному пластиковому корпусі з внутрішніми габаритами 35x80x20 мм.

4. Створено алгоритм та розроблено програмне забезпечення на мові C. Програма забезпечує опитування датчика кожні 30 секунд, виведення значень pH і статусів («НОРМА»/«КРИТИЧНИЙ РІВЕНЬ») на дисплей, а також увімкнення звукової тривоги у разі перевищення порогу ($pH > 7.5$), а також зупинку при вимкненні живлення.

5. Експериментально встановлено, що результат середній результат вимірювання з абсолютною похибкою становить $pH = 6,826 \pm 0,099$ ($P = 0,95$), при відносній похибці $\Delta pH = 1,45\%$. Розрахунковий середній наробіток до відмови складає 14 783 годин, що підтверджує належну точність, надійність та стабільність приладу.

6. Опрацьовано комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці, електро- та пожежної безпеки з урахуванням специфіки хіміко-аналітичної лабораторії. Сформульовано правила безпеки життєдіяльності та вимоги до інструктажу персоналу під час експлуатації обладнання.

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вимірювач кислотності та температури BENETECH GM765 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://protester.com.ua/gm765>.
2. Портативний рН-метр з автоматичним калібруванням [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://evse.com.ua/ph-metr-dlya-izmereniya-kislotnosti-000-14ph-portativnyj-kalibrovka>.
3. рН-ОВП-метр-термометр водозахищений EZODO 7011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/ru/ph-ovp-metr-termometr-vodozahischeniy-z-akt-ezodo-7011.html>.
4. рН-ОВП-кондуктометр-солемір-термометр водозахищений EZODO 7200 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/ru/rn-ovp-konduktometr-solemr-termometr-vodozahischeniy-z-akt-ezodo-7200.html>.
5. Що таке OLED дисплей та контролер SSD1306 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.adafruit.com/product/326>.
6. Мікроконтролер ATmega328. Офіційна технічна документація (DataSheet) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/datasheet/ATmega328>.
7. Датчик рН потенціометричний з платою узгодження сигналів аналоговий [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2145-modyl-izmereniya-ph>.
8. Динамік мініатюрний Adafruit SPKR-8 Mini 8 Ohm Speaker [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.com.ua/modyl-dinamika-adafruit-sprk8>.
9. Тактова кнопка серії TL1105 (TL1105BF160Q) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kosmodrom.ua/prod-button-tl1105>.
10. Кварцовий резонатор 16 МГц HC-49S (ZQ1) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kosmodrom.ua/ru/product/kvarts-16-mhz-hc-49s.html>.
11. Літій-полімерний акумулятор Li-Po 3.7В з платою захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://detalipro.in.ua/li-po-battery-3-7v>.

					МММТ. 480.003.003 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

12. Модуль контролера заряду акумулятора з USB-інтерфейсом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/tp4056-micro-usb-charge-module>.

13. Специфікація та правила проектування друкованих плат у САПР EasyEDA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com/Doc/Tutorial/>.

14. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика інформаційно-вимірювальних систем» / Укл.: к.т.н., доцент, Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. – 124 с.

15. Закон України "Про охорону праці" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

16. Охорона праці в галузі приладобудування та хіміко-аналітичних лабораторій / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький, О. П. Панчук. – К., 2019. – 322 с.

17. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>.

					<i>МММТ. 480.003.003 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68