

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Богуславський А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тихо Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Литвиненко Я.В.

(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«24» квітня 2026 р

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Богуславському Антону Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, PhD, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи

АНОТАЦІЯ

Богуславський А.А. Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-технології, безконтактне дозування, комп'ютеризована система, мікроконтролер, сенсори, дистанційний моніторинг.

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій. Метою роботи є створення функціональної та надійної системи, здатної забезпечити автоматизоване дозування антисептика та віддалений моніторинг її стану.

У першому розділі проведено аналіз технічного завдання, визначено основні цілі та функції системи, а також сформульовано функціональні, апаратні та програмні вимоги. У цьому ж розділі виконано огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів безконтактних дозувальних систем та рішень на основі IoT, що дозволило обґрунтувати доцільність обраного підходу до проектування.

Другий розділ присвячено розробленню апаратного забезпечення системи. Побудовано структурну схему та електричну принципову схему пристрою, а також обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема мікроконтролера, сенсорів, виконавчих елементів і засобів зв'язку.

У третьому розділі розроблено алгоритм функціонування системи та програмне забезпечення, виконано інтеграцію з IoT-платформою для дистанційного моніторингу параметрів роботи. Завершальним етапом є проведення тестування розробленої системи та аналіз отриманих результатів.

ANNOTATION

Bohuslavskyi A.A. Computerized System for Monitoring the Level of Consumable Materials in Contactless Sensor Dispensers Based on IoT Technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT technologies, contactless dispensing, computerized system, microcontroller, sensors, remote monitoring.

This bachelor's qualification work focuses on the development of a computerized system for monitoring the level of consumable materials in contactless sensor dispensers based on IoT technologies. The aim of this work is to create a functional and reliable system capable of ensuring automated dispensing of antiseptic and remote monitoring of its status.

In the first section, the technical specification is analyzed, the main objectives and functions of the system are defined, and functional, hardware, and software requirements are formulated. The section also includes a review and comparative analysis of existing contactless dispensing systems and IoT-based solutions, which substantiates the feasibility of the selected design approach.

The second section is devoted to the development of the system hardware. A structural diagram and an electrical schematic diagram of the device are designed, and the selection of the element base is justified, including the microcontroller, sensors, actuators, and communication modules.

In the third section, the system operation algorithm and software are developed, and integration with an IoT platform for remote monitoring of operating parameters is implemented. The final stage of the work involves testing of the developed system and analysis of the obtained results.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи безконтактних сенсорних дозаторів.....	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.....	11
1.3 Огляд існуючих засобів для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.....	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Структура системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.....	18
2.2 Розробка апаратного забезпечення системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.....	20
2.2.1 Модуль ESP32.....	20
2.2.2 Лазерний давач відстані VL53L0X.....	23
2.2.3 Ультразвуковий давач відстані HC-SR04.....	26
2.2.4 Водяна помпа RS-360SH.....	28
2.2.5 OLED дисплей SSD1306.....	31
2.3 Електрична принципова схема пристрою.....	34
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Розробка алгоритму роботи системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.....	37
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	40
3.2.1 Підпрограма setup().....	40

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Богуславський А.А.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Луцик Н.С.</i>			5	78	
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій</i>		

3.2.2 Підпрограма loop()	42
3.2.3 Функція measureDistanceHC()	44
3.2.4 Функція measureLevelVL53()	45
3.2.5 Функція activatePump()	45
3.2.6 Функція updateDisplay().....	46
3.3 Налаштування хмарної IoT-платформи Thinger.io для реалізації дистанційного контролю	47
3.4 Моделювання та тестування системи	49
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок	53
4.2 Електромагнітні випромінювання: спектр, біологічний вплив і методи захисту	56
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

I2C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

MOSFET – Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

OLED – Organic Light Emitting Diode

БДС – безконтактна дозувальна система

ДВ – давач відстані

ДР – давач рівня

КС – комп'ютеризована система

ПТ – польовий транзистор

УЗД – ультразвуковий давач

ХП – хмарна платформа

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах підвищеної уваги до санітарно-гігієнічної безпеки особливої актуальності набувають автоматизовані засоби дезінфекції рук у громадських місцях, медичних закладах, навчальних установах, підприємствах та об'єктах інфраструктури. Традиційні механічні дозатори не забезпечують належного рівня безконтактності, що може сприяти поширенню інфекційних захворювань. Крім того, відсутність засобів дистанційного контролю призводить до несвоєчасного поповнення витратних матеріалів, зниження ефективності експлуатації та збільшення витрат на обслуговування.

Використання IoT-технологій у сфері автоматизації дозволяє реалізувати системи, здатні не лише виконувати задані функції, але й забезпечувати віддалений моніторинг, збір та аналіз даних у реальному часі. Застосування комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів є актуальною задачею, спрямованою на підвищення рівня гігієнічної безпеки, зменшення людського фактора та оптимізацію експлуатаційних процесів.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та визначити основні функціональні вимоги до системи;
- виконати огляд і аналіз існуючих аналогів безконтактних дозувальних систем та IoT-рішень;
- розробити структурну схему комп'ютеризованої системи;
- розробити електричну принципову схему пристрою;
- обґрунтувати вибір елементної бази апаратної частини системи;
- розробити алгоритм функціонування системи;

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>8</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- створити програмне забезпечення для керування роботою пристрою;
- виконати інтеграцію системи з IoT-платформою для дистанційного моніторингу;
- провести тестування розробленої системи та проаналізувати отримані результати.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи безконтактних сенсорних дозаторів

Системи безконтактного дозування антисептичних засобів набувають широкого поширення у зв'язку зі зростанням вимог до санітарно-гігієнічної безпеки та впровадженням сучасних технологій автоматизації. Використання таких систем дозволяє мінімізувати прямий контакт користувачів із поверхнями пристроїв, що є одним із ключових факторів зниження ризику передачі інфекційних захворювань. Застосування IoT-технологій додатково забезпечує можливість централізованого моніторингу, аналізу даних і підвищення ефективності експлуатації дозувальних пристроїв.

Однією з основних сфер застосування системи є заклади охорони здоров'я. У лікарнях, поліклініках, амбулаторіях та лабораторіях дотримання гігієнічних норм є критично важливим, а регулярна обробка рук медичного персоналу та відвідувачів є обов'язковою. Використання безконтактних дозаторів з дистанційним контролем рівня антисептика дозволяє забезпечити безперебійну роботу пристроїв, своєчасне поповнення витратних матеріалів та зменшення навантаження на обслуговуючий персонал.

Не менш актуальною є сфера застосування таких систем у навчальних закладах, зокрема в школах, коледжах та закладах вищої освіти. Висока концентрація людей у навчальних приміщеннях створює підвищені ризики поширення інфекцій, особливо в періоди сезонних захворювань. Встановлення систем безконтактного дозування антисептичних засобів у вхідних зонах, коридорах та їдальнях сприяє формуванню культури гігієни та забезпечує постійний контроль стану дозаторів без необхідності їх фізичної перевірки.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Богуславський А.А.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					<i>10</i>	<i>8</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

Важливою сферою застосування є також громадські та адміністративні будівлі, зокрема торговельні центри, офісні комплекси, вокзали, аеропорти та інші об'єкти з інтенсивним потоком відвідувачів. У таких умовах традиційні механічні дозатори часто виявляються недостатньо ефективними через швидке вичерпання витратних матеріалів та відсутність контролю їхнього стану. Використання комп'ютеризованих систем з IoT-моніторингом дозволяє організувати централізований контроль великої кількості пристроїв, оптимізувати логістику обслуговування та зменшити експлуатаційні витрати.

Перспективною сферою застосування є промислові підприємства та об'єкти критичної інфраструктури, де дотримання санітарних норм є складовою виробничої безпеки. У таких умовах системи безконтактного дозування можуть інтегруватися з іншими елементами автоматизованих систем управління та безпеки, забезпечуючи комплексний підхід до контролю гігієнічних процесів. Дистанційний збір даних про використання витратних матеріалів також дає змогу здійснювати аналітичну оцінку інтенсивності експлуатації пристроїв.

Отже, комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів має широкий спектр застосування в різних галузях. Поєднання автоматизації, безконтактної взаємодії та IoT-технологій робить такі системи ефективним інструментом підвищення рівня гігієнічної безпеки, оптимізації експлуатаційних процесів і зниження витрат на обслуговування, що підтверджує доцільність і актуальність її розроблення в межах даної кваліфікаційної роботи.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

Аналіз вимог дозволяє визначити ключові характеристики, що забезпечують ефективне та надійне функціонування системи в умовах реальної експлуатації. Вимоги формуються на основі технічного завдання, умов використання системи та особливостей об'єкта автоматизації.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з вимог є забезпечення повної безконтактності процесу дозування витратних матеріалів. Система повинна коректно виявляти наявність користувача в зоні спрацювання та здійснювати подавання антисептика без фізичного контакту з елементами керування. Це накладає вимоги до точності та стабільності роботи сенсорів, а також до алгоритмів обробки сигналів, які мають запобігати помилковим спрацюванням.

Важливою вимогою є надійність функціонування системи в умовах інтенсивної експлуатації. Комп'ютеризована система повинна забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу, бути стійкою до короточасних збоїв живлення та втрати зв'язку з мережею. У разі виникнення несправностей система має переходити в безпечний режим роботи або формувати відповідні повідомлення для обслуговуючого персоналу.

Окрему групу становлять вимоги до дистанційного контролю рівня витратних матеріалів. Система повинна здійснювати постійний або періодичний моніторинг наявності антисептика та передавати відповідні дані на IoT-платформу. При досягненні критичних значень рівня витратних матеріалів має забезпечуватися своєчасне інформування про необхідність поповнення. Це вимагає коректної роботи сенсорів рівня, надійної передачі даних і збереження інформації у разі тимчасової відсутності зв'язку.

Суттєвими є вимоги до апаратного та ПЗ системи. Апаратна частина повинна базуватися на сучасному мікроконтролері з достатніми обчислювальними ресурсами та підтримкою засобів бездротового зв'язку. Програмне забезпечення має бути модульним, масштабованим та забезпечувати можливість оновлення без значних змін апаратної частини.

Також важливими є вимоги до енергоефективності, зручності експлуатації та можливості подальшої модернізації системи. Система повинна споживати мінімальну кількість енергії, бути простою в обслуговуванні та адаптованою до розширення функціональних можливостей. Сукупність розглянутих вимог

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

визначає напрямки подальшого проєктування та є основою для розроблення структурної, апаратної й програмної частин комп'ютеризованої системи.

1.3 Огляд існуючих засобів для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

На сучасному ринку присутня значна кількість рішень для безконтактного дозування антисептичних засобів, які орієнтовані на забезпечення санітарно-гігієнічної безпеки у громадських і приватних просторах. Ці системи зазвичай реалізовані як автоматичні дозатори з інфрачервоними давачами, що активують подачу рідини у момент, коли користувач наближає руки до зони спрацьовування. У лінійці доступних продуктів є як настінні моделі, так і підлогові станції з великими резервуарами для антисептика, що покривають потреби різних сегментів ринку (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Безконтактний дозатор Purell LTX-12

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Загальна ідея автоматичних дозаторів полягає в забезпеченні гігієнічної подачі антисептика без фізичного контакту з поверхнями, що суттєво мінімізує ризик передачі патогенних мікроорганізмів. Такі пристрої зазвичай обладнані інфрачервоними сенсорами, резервуарами для рідини різного об'єму, а також механізмом подачі на основі насосного приводу чи гравітаційної системи, що активуються у відповідь на наближення рук користувача (рис. 1.2). Крім того, частина моделей має регульовану дозу подачі для оптимізації використання витратних матеріалів та зниження експлуатаційних затрат [1].



Рисунок 1.2 – Сенсорний дозатор Formed-5 Lux

Попри широке розповсюдження, існуючі комерційні рішення мають низку суттєвих обмежень і недоліків, які знижують їх ефективність та адаптивність для широкого спектра застосувань. Більшість стандартних автоматичних дозаторів є ізольованими пристроями без можливості підключення до мережі або IoT-платформи [2]. Це означає, що інформація про стан рівня витратних матеріалів не може передаватися віддалено для централізованого моніторингу або аналізу використання. В результаті обслуговуючий персонал повинен регулярно фізично

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевіряти кожен дозатор, що неефективно при великій кількості точок розміщення.

Надійність сенсорів у комерційних моделях часто залишає бажати кращого. Інфрачервоні давачі можуть бути чутливими до умов освітлення або сторонніх предметів, через що спрацьовування може бути або надто частим, або, навпаки, неадекватним – з пропуском подачі витратних матеріалів при реальному наблизенні руки. Подібні недоліки призводять до непередбачуваної поведінки пристроїв у різних середовищах використання.

Також важливим недоліком є обмежений обсяг резервуарів у багатьох настінних моделях, що створює потребу частого обслуговування та змушує персонал витратити значні ресурси на поповнення витратних матеріалів. Хоча існують підлогові рішення з великими резервуарами, вони залишаються громіздкими та дорогими, що обмежує їх використання у невеликих приміщеннях чи бюджетних проєктах.

Ще одним обмеженням є відсутність модульності та гнучкості в налаштуваннях. Стандартні комерційні дозатори зазвичай мають фіксовану архітектуру, що не передбачає легкого розширення функціоналу, підключення додаткових сенсорів чи адаптації до змінної логістики обслуговування [3]. Через це під час масштабування системи, наприклад, у великій установі чи мережевому середовищі, виникають складнощі з централізованим керуванням та інтеграцією з іншими компонентами.

Крім того, деякі моделі мають обмежені можливості налаштування дози подачі або не мають її взагалі, що призводить до невиправданого використання витратних матеріалів, підвищених витрат та необхідності частішого обслуговування. Це негативно впливає на загальну ефективність таких рішень, особливо у місцях з високою прохідністю відвідувачів.

Комерційні автоматичні дозатори найчастіше не підтримують інтеграцію з іншими системами чи аналітичними платформами, такими як системи відеоспостереження, управління доступом або автоматизовані системи звітності. Через це навіть при великій кількості встановлених пристроїв, інформація про їх

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стан залишається розрізненою, а оператори не мають можливості ефективно консолідувати дані для аналітики або прогнозної оптимізації.

Отже, сучасні комерційні безконтактні дозатори виконують базову функцію автоматичного подавання рідини, але не здатні вирішити більш складні завдання, пов'язані з віддаленим моніторингом, аналітикою, інтеграцією з IoT, масштабованістю та оптимізацією експлуатаційних процесів. Саме ці недоліки визначають потребу у розробці нового комп'ютеризованого IoT-рішення, яке б усунуло перелічені обмеження та забезпечило гнучкість, надійність і ефективність сучасної системи дозування витратних матеріалів.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Одним із можливих рішень є використання стандартних комерційних автоматичних дозаторів із вбудованими сенсорами та механізмами подачі. Такі пристрої забезпечують базову функцію безконтактного дозування та не потребують складного налаштування. Проте їх застосування обмежується відсутністю можливостей дистанційного моніторингу, інтеграції з IoT-платформами та гнучкого налаштування параметрів роботи. Крім того, більшість комерційних моделей мають закриту архітектуру, що унеможливує їх адаптацію до специфічних вимог або розширення функціональності.

Іншим підходом є створення системи на основі програмованого логічного контролера або промислових модулів автоматизації. Такий варіант забезпечує високий рівень стабільності та надійності роботи, а також можливість інтеграції з іншими системами керування. Водночас використання промислових рішень є економічно недоцільним для відносно простих задач дозування витратних матеріалів, оскільки значно підвищує вартість системи та ускладнює її масштабування в умовах масового застосування.

Перспективним рішенням є розробка власної комп'ютеризованої системи на основі мікроконтролера з підтримкою бездротового зв'язку. Такий підхід дозволяє гнучко реалізувати необхідний функціонал, адаптувати систему до вимог

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

користувача та забезпечити інтеграцію з IoT-платформами для дистанційного моніторингу. Використання мікроконтролерних платформ дає змогу оптимізувати енергоспоживання, знизити вартість апаратної частини та забезпечити компактність пристрою.

У межах цього підходу можливі різні варіанти реалізації сенсорної та виконавчої частин системи. Для виявлення користувача можуть застосовуватися інфрачервоні або ультразвукові давачі, кожен з яких має свої особливості з точки зору точності та стабільності роботи. Контроль рівня витратних матеріалів може здійснюватися за допомогою ємнісних, ультразвукових сенсорів або давачів ваги, вибір яких визначається вимогами до точності та конструктивними особливостями резервуара.

Значну роль у виборі рішення відіграє програмна складова системи. Використання модульної архітектури ПЗ забезпечує можливість подальшого розширення функціоналу, реалізації нових алгоритмів обробки даних та інтеграції з різними IoT-сервісами. Хмарні платформи надають інструменти для зберігання, аналізу та візуалізації даних, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації системи.

Отже, найбільш доцільним є розроблення власної комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі мікроконтролера з підтримкою IoT-технологій. Такий підхід забезпечує оптимальне поєднання функціональності, гнучкості, економічної ефективності та можливості подальшого розвитку, що повністю відповідає вимогам поставленого завдання.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Структура системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

На рисунку 2.1 зображена структурна схема системи. У центрі схеми розташований мікроконтролерний модуль, який виконує функції збору даних, їх цифрової обробки, формування керуючих сигналів та організації мережевої взаємодії з хмарною IoT-платформою.

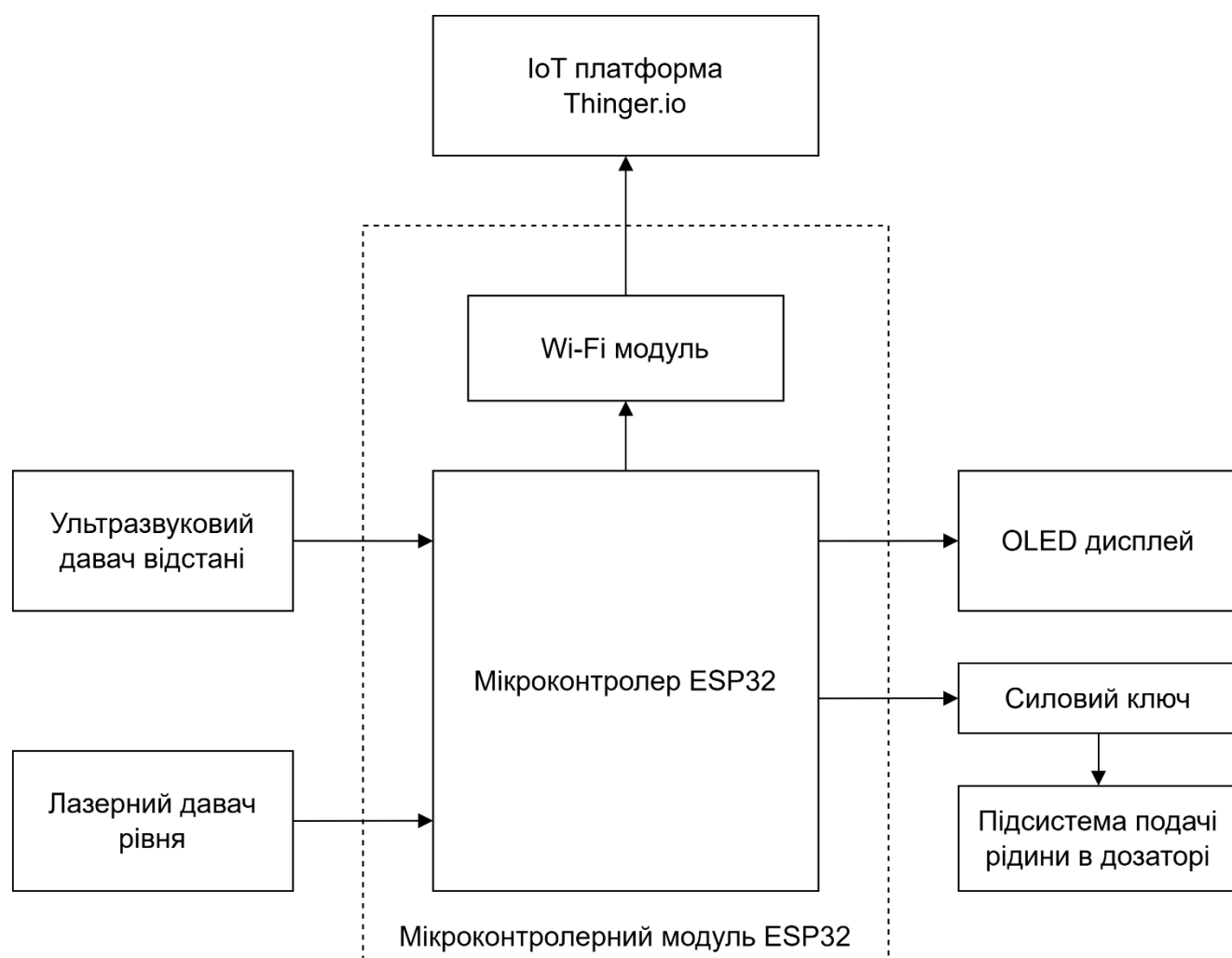


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Богуславський А.А.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>				<i>18</i>	<i>19</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>			<i>Проектна частина</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>					

До входів мікроконтролера підключено два давачі відстані. Перший давач використовується для виявлення присутності користувача в зоні дозування витратних матеріалів. Другий давач призначений для визначення рівня витратного матеріалу в резервуарі. Обидва сенсори передають виміряну інформацію у цифровому вигляді, що дозволяє мінімізувати вплив завад та забезпечити високу точність вимірювання.

Водяний насос у структурній схемі відноситься до виконавчого механізму підсистеми подачі рідини в дозаторі. Він отримує живлення через польовий транзистор і активується лише за умови виконання алгоритмічних критеріїв: наявність користувача та достатній рівень рідини у резервуарі. Інформація про рівень витратного матеріалу надходить від другого давача відстані, який орієнтований на поверхню витратного матеріалу або внутрішню частину резервуара. На основі отриманих даних мікроконтролер обчислює поточний залишок рідини та формує відповідні службові повідомлення.

Для забезпечення локальної індикації стану системи у структурній схемі передбачено модуль відображення інформації — OLED дисплей. Він підключений до мікроконтролера через цифровий інтерфейс і використовується для виведення таких параметрів, як поточний рівень витратних матеріалів, кількість спрацювань насоса, стан з'єднання з мережею та службові повідомлення про помилки або критичний рівень рідини. Наявність локального дисплея дозволяє здійснювати візуальний контроль без необхідності доступу до віддаленого інтерфейсу.

Окремим функціональним блоком на структурній схемі представлено хмарну IoT-платформу — Thingier.io. З'єднання між мікроконтролером та хмарною платформою здійснюється через бездротовий мережевий інтерфейс Wi-Fi. У межах цієї взаємодії реалізується передавання телеметричних даних (рівень рідини, статистика використання, стан системи), а також приймання керуючих або конфігураційних параметрів. Платформа забезпечує збереження історії вимірювань, графічну візуалізацію даних, формування аналітики та віддалений моніторинг.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка апаратного забезпечення системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

2.2.1 Модуль ESP32

Мікроконтролерний модуль ESP32 є високопродуктивною однокристальною системою (SoC) для побудови вбудованих та IoT-пристроїв із підтримкою бездротового зв'язку. Архітектурно модуль поєднує у собі процесорне ядро, периферійні інтерфейси, модулі бездротової комунікації та підсистему керування живленням, що дозволяє реалізувати повноцінну комп'ютеризовану систему на одному апаратному вузлі без необхідності використання додаткових мережевих контролерів (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Модуль ESP32

В основі ESP32 лежить 32-розрядний мікропроцесор LX6 з двоядерною конфігурацією, що забезпечує можливість паралельного виконання задач: одне ядро може обробляти сенсорні дані та керувати виконавчими механізмами, тоді як друге — забезпечувати мережеву взаємодію та обслуговування стека TCP/IP. Такий підхід підвищує детермінованість алгоритмів керування насосом та обробки сигналів від давачів відстані, що є критичним для систем реального часу.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структурно ESP32 містить центральний процесорний блок, оперативну пам'ять SRAM, контролер флеш-пам'яті, радіомодуль Wi-Fi, Bluetooth, а також широкий набір периферійних модулів: АЦП, ЦАП, SPI, I²C, UART, PWM, таймери, апаратні лічильники та контролери переривань. Наявність інтегрованого Wi-Fi дозволяє безпосередньо реалізувати підключення до хмарної платформи Thingier.io без використання зовнішніх модемів або Ethernet-контролерів. Основні параметри модуля ESP32 приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля ESP32

Характеристика	Значення
Архітектура процесора	Tensilica Xtensa LX6
Кількість ядер	2
Тактова частота	до 240 МГц
Розрядність	32 біти
Оперативна пам'ять (SRAM)	~520 КБ
Зовнішня Flash-пам'ять	4–16 МБ (залежно від модуля)
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4 ГГц)
Bluetooth	v4.2 (Classic + BLE)
GPIO	до 34
АЦП	12-бітний, до 18 каналів
ЦАП	2 канали, 8-біт
Інтерфейси	UART, SPI, I ² C, I ² S, CAN, PWM
Робоча напруга	3,0–3,6 В (логічний рівень 3,3 В)
Живлення модуля	5 В (через вбудований стабілізатор)
Діапазон температур	–40...+85 °С

Принцип роботи мікроконтролерного модуля полягає у циклічному виконанні програмного коду, який зберігається у флеш-пам'яті. Після подачі живлення відбувається ініціалізація апаратних ресурсів, налаштування тактових генераторів, портів введення-виведення та периферійних інтерфейсів. Далі

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запускається основний алгоритм, який реалізує: періодичне опитування двох давачів відстані через інтерфейс I²C, обробку отриманих даних (фільтрацію та порівняння з пороговими значеннями), формування сигналу керування польовим транзистором для активації насоса, оновлення інформації на OLED дисплеї та передавання телеметричних даних у хмарне середовище через стек Wi-Fi. Завдяки підтримці багатозадачності (FreeRTOS) можливе розділення функцій на окремі програмні потоки, що підвищує надійність та структурованість програмної архітектури.

Особливістю ESP32 є розвинена підсистема керування живленням. Мікроконтролер підтримує декілька режимів енергоспоживання: активний режим, modem-sleep, light-sleep та deep-sleep. У контексті стаціонарної системи дозування витратних матеріалів це дозволяє оптимізувати споживання енергії у періоди простою, що особливо актуально при використанні резервного живлення.

До важливих характеристик ESP32 належить наявність 34 універсальних пінів, що дозволяє без обмежень підключити два давачі відстані, дисплей, силовий ключ та інші допоміжні елементи. Апаратна підтримка I²C спрощує інтеграцію цифрових сенсорів, а ШІМ-виходи забезпечують можливість гнучкого керування виконавчими пристроями.

Вибір ESP32 для реалізації комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів обґрунтовується сукупністю технічних та функціональних переваг. По-перше, інтегрований Wi-Fi забезпечує безпосередню інтеграцію з хмарною IoT-платформою без додаткового обладнання, що спрощує структуру системи та зменшує її вартість. По-друге, висока обчислювальна потужність дозволяє одночасно виконувати обробку сигналів із двох сенсорів, керування насосом та обмін даними через мережу без втрати продуктивності. По-третє, велика кількість периферійних інтерфейсів забезпечує масштабованість системи у разі додавання нових модулів.

Крім того, ESP32 має широку програмну підтримку, що спрощує розробку, тестування та супровід ПЗ. Наявність апаратних механізмів шифрування підвищує рівень кібербезпеки при передаванні даних у хмару.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Лазерний давач відстані VL53L0X

Лазерний давач VL53L0X є високоточним сенсором для вимірювання відстані до об'єктів за допомогою технології Time-of-Flight (ToF). Цей сенсор розроблено компанією STMicroelectronics і широко застосовується в робототехніці, автоматизованих системах контролю, безконтактних пристроях введення та IoT-проектах, де необхідно визначати присутність об'єктів або зміну рівня речовини без фізичного контакту (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Лазерний давач відстані VL53L0X

Основним елементом давача є світлодіодний лазерний передавач у поєднанні з фотодіодом-приймачем і високочутливою схемою обробки сигналів. Принцип роботи базується на технології Time-of-Flight: світловий імпульс випромінюється лазерним джерелом, відбивається від поверхні об'єкта і повертається до приймача. На основі часу проходження прольоту світла до об'єкта і назад мікросхема обчислює відстань до нього. Оскільки швидкість світла є відомою константою, навіть дуже короткі часові інтервали повернення імпульсу дозволяють точно визначити відстань.

VL53L0X працює в інфрачервоному спектрі, що забезпечує мінімальний вплив видимого освітлення навколишнього середовища і дозволяє здійснювати вимірювання навіть при змінних умовах освітленості. Такий спосіб детектування значно перевершує за точністю і надійністю стандартні ультразвукові або

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інфрачервоні давачі, які можуть бути чутливими до кольору, текстури або яскравості об'єкта. В таблиці 2.2 надені технічні характеристики давача VL53L0X.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача VL53L0X

Параметр	Значення
Тип сенсора	Лазерний ToF (Time-of-Flight)
Діапазон вимірювання	20 мм — 1200 мм
Роздільна здатність	від 1 мм
Робоча частота вимірювань	до 50 Hz
Інтерфейс зв'язку	I ² C
Живлення	2,6–3,5 В
Робочий струм	~20–25 мА
Робоча температура	–20...+85 °С

Конструктивно давач має компактний корпус із виведеними контактами для підключення до зовнішніх систем. Він взаємодіє з мікроконтролером через цифровий інтерфейс I²C, що дозволяє легко додавати його в існуючу апаратну конфігурацію без потреби в аналогових перетворювачах або додаткових підсилювачах. Мікросхема VL53L0X має вбудовані алгоритми обробки сигналів і пригнічення шумів, що дозволяє отримувати стабільні результати навіть при вимірюванні об'єктів із різними оптичними властивостями.

Цей давач має широкий робочий діапазон вимірювання — від кількох міліметрів до понад одного метра, що робить його універсальним для різних задач. Крім того, він має невелике енергоспоживання, що має позитивний вплив на загальну енергоефективність проєктованої системи, особливо при використанні живлення від акумуляторних або портативних джерел.

Однією із ключових переваг VL53L0X є наявність внутрішніх механізмів калібрування, що дозволяє автоматично компенсувати відхилення, викликані змінами температури або умовами навколишнього середовища. Це забезпечує стабільність вимірювань.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У контексті розробки комп'ютеризованої системи безконтактного дозування витратних матеріалів даний давач є оптимальним вибором завдяки своїй високій точності, цифровому інтерфейсу та здатності визначати відстань з мінімальною затримкою. Завдяки цифровому протоколу I²C мікроконтролер може ефективно опитувати давач, обробляти дані та приймати рішення про активацію насоса або передачу даних у хмарну платформу.

Крім того, VL53L0X забезпечує достатню роздільну здатність у межах робочих дистанцій, що дозволяє реалізувати точний контроль висоти рідини, навіть якщо рівень змінюється плавно. Це критично важливо для своєчасного попередження про низький рівень витратного матеріалу та своєчасного реагування без участі людини.

Обґрунтування вибору лазерного давача VL53L0X для реалізації даної комп'ютеризованої системи базується на таких основних аспектах:

- цифровий інтерфейс I²C забезпечує надійну та просту інтеграцію з мікроконтролером ESP32 без необхідності додаткових аналогових перетворювачів;
- висока стабільність і точність вимірювань дозволяє контролювати рівень рідини в резервуарі, що є критично важливим для безконтактного дозування;
- широкий діапазон вимірювання дозволяє використовувати сенсор для вимірювання змін рівня рідини у резервуарах різної ємності та форми;
- низьке енергоспоживання сприяє енергоефективності всієї системи, що важливо при живленні від одного джерела живлення 5 В;
- стабільність показників у змінних умовах освітлення дозволяє уникати впливу зовнішніх джерел світла, що проблемно у традиційних ІЧ-давачах.

Отже, лазерний давач відстані VL53L0X є технічно і функціонально оптимальним компонентом для реалізації задач безконтактного виявлення присутності та контролю рівня витратних матеріалів в рамках проекту комп'ютеризованої системи.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Ультразвуковий давач відстані HC-SR04

Ультразвуковий давач HC-SR04 є широко розповсюдженим сенсорним модулем для вимірювання відстані до об'єктів. Він використовується у робототехніці, автоматизації, системах безпеки та IoT-проєктах, де потрібне точне, безконтактне визначення присутності об'єктів на певній відстані. Завдяки простоті реалізації, надійності та доступності цей давач став популярним вибором для проєктів, що реалізують функцію виявлення об'єктів (рис. 2.4).

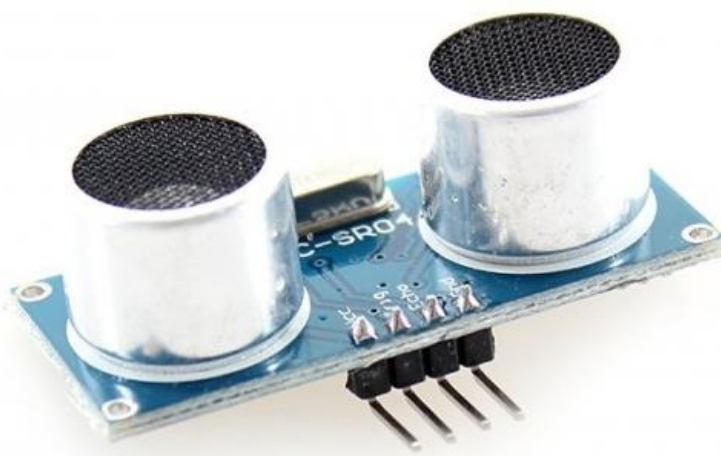


Рисунок 2.4 – Ультразвуковий давач відстані HC-SR04

Конструктивно HC-SR04 складається з 2 основних ультразвукових компонентів: випромінювача та приймача, змонтованих у пластиковому корпусі з передньої панелі модуля. Випромінювач генерує ультразвукові хвилі на частоті приблизно 40 кГц, які не чутні людському вуху, але добре поширюються у повітряному середовищі. Приймач, розташований поруч, фіксує відбитий сигнал після того, як хвиля досягла об'єкта і повернулася назад.

Принцип роботи HC-SR04 базується на вимірюванні часу, який потрібен ультразвуковому імпульсу для того, аби пройти шлях від давача до об'єкта та назад. Коли мікроконтролер подає на вхід тригера (Trig) короткий електричний імпульс, генератор випромінює серію ультразвукових коливань. Якщо ці хвилі натрапляють на перешкоду (у цьому випадку — руку користувача), вони відбиваються і повертаються до приймача, який активує вихідний пін (Echo). Протягом цього часу модуль подає на мікроконтролер цифровий сигнал

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалістю, пропорційною відстані до об'єкта. Цю тривалість можна легко перетворити на відстань за відомою швидкістю поширення звуку у повітрі.

Завдяки цифровому виходу HC-SR04 легко інтегрується з мікроконтролерами, такими як ESP32. Інтерфейс модуля передбачає лише два контакти для сигналів (Trig і Echo), окрім живлення та землі, що спрощує апаратну реалізацію. Основні алгоритмічні обчислення виконуються на мікроконтролері, який перетворює вимірний час у значення відстані.

HC-SR04 має достатню точність і діапазон вимірювання для задач виявлення присутності руки у зоні дозатора. Типово модуль здатний визначати об'єкти у діапазоні від приблизно 2 см до 4–5 м, з похибкою вимірювання, що не перевищує кількох міліметрів на ближніх дистанціях. Такий діапазон дозволяє реалізувати функцію виявлення руки користувача на оптимальній відстані (зазвичай 10–30 см для безконтактної взаємодії), уникаючи помилкових спрацьовувань. Технічні параметри давача HC-SR04 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри давача HC-SR04

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	20 мм – 4000 мм
Точність вимірювань	± 3 мм
Частота ультразвуку	≈ 40 кГц
Робоча напруга	5 В DC
Робочий струм	≈ 15 –20 мА
Інтерфейс	Цифрові сигнали Trig / Echo
Робоча температура	$-10 \dots +70$ °C

Однією з переваг ультразвукового давача є його відносна нечутливість до освітлення навколишнього середовища, забарвлення об'єкта чи здатності поверхні до відбиття ультразвукового сигналу. На відміну від деяких інфрачервоних сенсорів, HC-SR04 не залежить від інтенсивного видимого світла, що робить його надійним у різних умовах освітлення, включаючи яскраве сонячне світло або тінь.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Крім того, HC-SR04 має просту конструкцію, доступну ціну та велику кількість прикладів реалізації у відкритому доступі, що спрощує розробку ПЗ. У поєднанні з ESP32 він дозволяє створити точну, швидку та стабільну підсистему виявлення присутності, яка буде невід'ємною частиною комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.

Обґрунтування вибору HC-SR04 для реалізації комп'ютеризованої системи базується на його функціональних можливостях, технічних параметрах та функціональній придатності для задачі виявлення присутності руки. По-перше, діапазон вимірювання HC-SR04 повністю охоплює типову відстань між користувачем та дозатором у момент взаємодії, що забезпечує надійне спрацювання безконтактної частини системи. По-друге, цифровий характер вихідних сигналів спрощує обробку даних на ESP32 і зменшує потребу в складних алгоритмах фільтрації.

Ще однією перевагою є висока стійкість до умов навколишнього середовища та освітлення, що важливо для реального використання в різних приміщеннях та умовах експлуатації. Ця характеристика робить HC-SR04 більш універсальним у порівнянні з деякими оптичними сенсорами, які можуть бути чутливими до зовнішніх джерел світла.

Завдяки широкому використанню цього сенсора у проєктних рішеннях, існує великий обсяг готового коду, бібліотек та практичних рекомендацій, що значно пришвидшує розробку та тестування ПЗ. У поєднанні з вбудованими можливостями ESP32 щодо цифрової обробки сигналів і підтримки Wi-Fi, давач HC-SR04 стає надійним, доступним і функціонально придатним елементом для реалізації підсистеми виявлення присутності у загальній архітектурі системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.

2.2.4 Водяна помпа RS-360SH

Мініатюрна водяна помпа RS-360SH є компактним електромеханічним пристроєм, призначеним для перекачування рідин у невеликих системах, таких як охолоджувальні контури, малі дозатори, фонтани, акваріуми та інші побутові чи

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислові модулі. У конструкції помпи використано простий, але надійний механізм, що забезпечує стабільну подачу рідини при відносно невеликих габаритах і низькому споживанні енергії (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Водяна помпа RS-360SH

Корпус помпи виготовлений із стійкого пластику, що забезпечує захист внутрішніх елементів від агресивного середовища, мінімальний вплив вологи та механічних пошкоджень. Усередині розташований електричний двигун, до валу якого через спеціальний кронштейн прикріплено робоче колесо (імпелер). Обертання імпелера створює різницю тисків на вході і виході помпи, що дозволяє перекачувати рідину з зони меншого тиску в зону більшого тиску. Завдяки цьому принципу, RS-360SH здатна безперервно створювати потік рідини з помірною продуктивністю при помірному енергоспоживанні.

Принцип роботи RS-360SH полягає у перетворенні електричної енергії, що надходить на обмотки електромотора, у механічну роботу. Після подачі напруги двигун починає обертатися, що передається на імпелер. У результаті виникає гідродинамічний потік, який витісняє рідину через вихідний отвір. Оскільки помпа не має складних механічних передач, її конструкція є досить простою, що зменшує ймовірність виходу з ладу та спрощує обслуговування. Параметри помпи RS-360SH наведені таблиці 2.4.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Параметри помпи RS-360SH

Параметр	Значення
Номінальна напруга	5 В DC
Споживаний струм	~300–500 мА
Робочий тиск	до 0,1 МПа
Продуктивність	до ~120–150 мл/хв
Напрямок потоку	Односторонній
Тип двигуна	Колекторний електродвигун

Однією з важливих особливостей RS-360SH є її компактність, що робить її придатною для використання у малих приладах. Невелика вага та розміри дозволяють інтегрувати її без значних змін конструкції самої системи. Також помпа працює від напруги живлення 5 В. Це забезпечує можливість живлення насоса безпосередньо від того самого джерела, що живить інші елементи (ESP32, сенсори, дисплей), з мінімальними втратами на перетворення напруги.

Незважаючи на порівняно невелику продуктивність, RS-360SH має достатню потужність для задач типу дозування рідини у невеликих об'ємах, що є актуальним для подавання витратних матеріалів у заданій порції. Важливо, що у контексті комп'ютеризованої системи дозування не потрібен значний тиск або великий об'єм рідини за один цикл, а саме керована, повторювана і обмежена кількість подач, що RS-360SH здатна реалізувати.

Для реалізації системи дозування важлива можливість керування подачею насоса через цифровий вихід мікроконтролера (ESP32). Хоча мікроконтролер прямо не здатний живити електродвигун через обмеження по струму, застосування зовнішнього ключа — польового транзистора або реле — дозволяє мікроконтролеру ефективно вмикати/вимикати насос залежно від результатів аналізу сигналів від сенсорів. Такий підхід мінімізує втручання апаратних елементів у логіку керування і забезпечує безпечну роботу низьковольтної частини системи.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір водяної помпи RS-360SH для реалізації проєктованої комп'ютеризованої системи обґрунтовується комбінацією таких чинників:

- живлення 5 В – узгоджується з логікою системи, що дозволяє живити насос від одного джерела разом із ESP32, сенсорами і дисплеєм;
- компактні розміри забезпечують простоту інтеграції у корпус дозатора без значного збільшення габаритів пристрою;
- помірна продуктивність достатня для точного дозування витратних матеріалів у малій кількості, при цьому не створює надлишкового тиску, який ускладнив би конструкцію;
- невелике енергоспоживання позитивно впливає на загальний баланс споживаної потужності, дозволяючи уникати значних втрат або необхідності у складних джерелах живлення.

2.2.5 OLED дисплей SSD1306

OLED дисплей на базі контролера SSD1306 є одним із найпопулярніших рішень для відображення інформації у компактних вбудованих системах. Він широко застосовується в IoT-проєктах, пристроях моніторингу, портативних інструментах та інших електронних рішеннях завдяки своїй високій контрастності, низькому споживанню енергії та простоті керування (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – OLED дисплей SSD1306

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно дисплей складається з органічних світлодіодних шарів, розташованих між електродами на тонкій підложці. На відміну від LCD-матриць, OLED-компоненти не потребують окремого джерела підсвітки. Це забезпечує виняткову контрастність та широкий кут огляду.

Центральним елементом модуля є контролер SSD1306 — спеціалізована мікросхема, що керує формуванням графічного зображення на OLED-матриці. Контролер підтримує різні режими роботи, управляє пам'яттю кадру (framebuffer) та інтерфейсом зв'язку з мікроконтролером. SSD1306 отримує дані графіки по цифровому інтерфейсу I²C, що робить підключення надзвичайно простим та економить лінії вводу-виводу мікроконтролера. Характеристики OLED дисплея наведені таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики OLED дисплея

Характеристика	Значення
Тип дисплея	OLED графічний
Контролер	SSD1306
Роздільна здатність	128 × 64 пікселі
Розмір екрана	0.96 дюйма
Інтерфейс	I ² C
Напруга живлення	3,3–5 В
Розмір пікселя	~0,06 мм
Робоча температура	–20...+70 °С
Кут огляду	~160°
Споживання струму	~10–20 мА (залежно від яскравості)

Принцип роботи OLED-дисплея SSD1306 базується на побітовому формуванні зображення в пам'яті контролера та виведенні цих даних на матрицю. Кожному пікселю дисплея відповідає біт у буфері пам'яті, що дозволяє організувати відображення графіки та тексту із високою роздільною здатністю 128×64 пікселів. Управляти OLED-екраном можна як графічно (малювання ліній,

кругів, іконок), так і текстово (виведення символів), що робить його гнучким рішенням для різних типів інформації.

OLED-дисплеї працюють при напрузі живлення 3,3–5 В, що дозволяє безпосереднє підключення до мікроконтролерів сімейства ESP32 без додаткового перетворення напруги. Цей дисплей має низьке енергоспоживання у порівнянні з традиційними LCD, що значно підвищує енергоефективність всієї системи. Також модель SSD1306 споживає струм тільки у момент оновлення екрану або підсвітки окремих сегментів, оскільки OLED-пікселі не потребують зовнішнього підсвічування.

Обмін даними з ESP32 здійснюється через інтерфейс I²C, що дозволяє використовувати лише дві лінії (SDA, SCL) для передачі команд і піксельних даних. Це особливо корисно у системах з обмеженою кількістю вільних портів, оскільки інші сенсори також можуть працювати по I²C, що спрощує загальну апаратну архітектуру.

OLED-дисплей SSD1306 має достатній розмір екрану для виведення важливої інформації про стан системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів: поточний рівень витратного матеріалу, кількість спрацювань, стан Wi-Fi-зв'язку, повідомлення про помилки, а також може відображати допоміжні індикатори чи графічні піктограми для користувача. Наявність високої роздільної здатності 128×64 пікселів дозволяє розміщувати як текстові, так і прості графічні елементи.

Вибір OLED SSD1306 для реалізації проєктованої комп'ютеризованої системи обґрунтований поєднанням кількох важливих переваг. По-перше, графічний дисплей забезпечує високу інформативність і може одночасно відображати кілька показників, що сприяє зручності експлуатації пристрою без додаткового підключення до смартфона чи комп'ютера. По-друге, низьке енергоспоживання дисплея сумісне вимогами до енергоефективності для IoT-систем, особливо при автономному живленні або при обмеженому ресурсі блоку живлення. По-третє, цифровий інтерфейс I²C дозволяє значно спростити з'єднання з ESP32 та іншими цифровими модулями.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

OLED дисплеї мають значно кращу контрастність і читаються під різним кутом огляду, що підвищує практичну зручність використання пристрою у різних умовах освітлення, включно з яскравим світлом зовні приміщення. У поєднанні з бібліотеками ПЗ, програмування дисплея є доволі простим, що прискорює розробку інтерфейсу.

2.3 Електрична принципова схема пристрою

Електрична принципова схема пристрою для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів побудована на базі мікроконтролерного модуля ESP32, який виконує функції центрального керуючого вузла. До його входів і виходів підключено ультразвуковий давач відстані HC-SR04 для виявлення руки користувача, лазерний давач відстані VL53L0X для контролю рівня витратних матеріалів в резервуарі, помпу RS-360SH як виконавчий механізм подачі рідини, польовий транзистор IRLZ44N для керування помпою, OLED-дисплей SSD1306 для локальної індикації, а також допоміжні резистори необхідних номіналів для формування коректних режимів роботи.

На рисунку 2.7 зображена повна електрична принципова схема пристрою, де ESP32 (U1) розташований у центрі як головний обчислювальний модуль. Живлення системи здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги 5 В. Лінія +5V підводиться до входу VIN модуля ESP32, а також використовується для живлення ультразвукового давача HC-SR04 і помпи RS-360SH.

Ультразвуковий давач відстані HC-SR04 (U3) має чотири виводи: VCC, Trig, Echo та GND. Сигнальний вивід Trig підключено до цифрового виходу GPIO18 модуля ESP32, який використовується для формування короткого 10-мкс імпульсу запуску вимірювання. Вивід Echo підключено до цифрового входу GPIO5. Оскільки HC-SR04 формує сигнал Echo рівнем 5 В, а ESP32 є 3,3 В пристроєм, у схемі передбачено подільник напруги на резисторах R3 і R4, що знижує рівень сигналу до безпечного для входу мікроконтролера значення близько 3,3 В.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

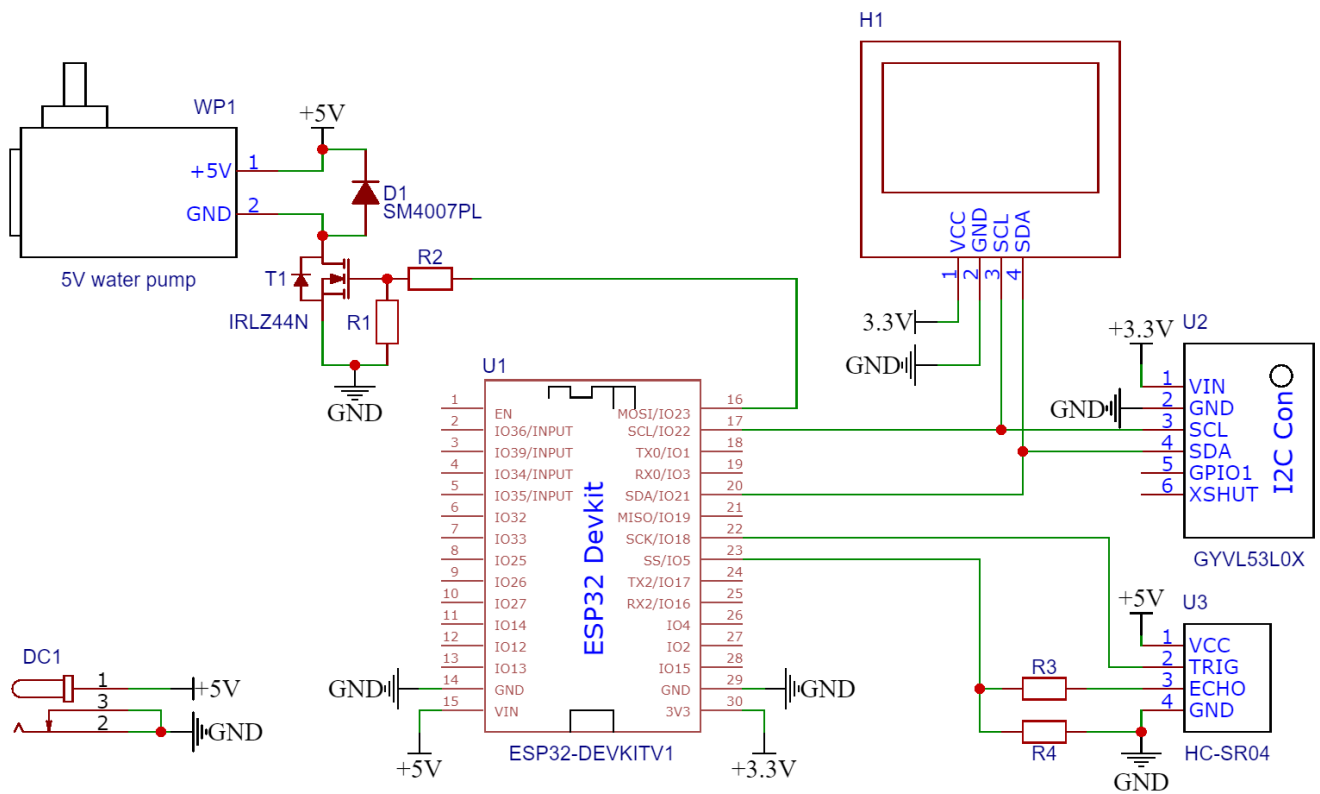


Рисунок 2.7 – Електрична схема пристрою для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

Лазерний давач відстані VL53L0X (U2) реалізує вимірювання рівня витратних матеріалів за технологією Time-of-Flight та підключається до ESP32 через інтерфейс I²C. Лінія SDA підключена до GPIO21, а лінія SCL — до GPIO22, що відповідає стандартній конфігурації I²C для ESP32.

OLED-дисплей SSD1306 (H1) також використовує інтерфейс I²C та підключається паралельно до тих самих ліній SDA (GPIO21) та SCL (GPIO22). Таким чином, VL53L0X та SSD1306 працюють у спільній I²C-шині, кожен із власною I²C-адресою, що забезпечує мінімізацію кількості задіяних контактів ESP32 і спрощує трасування плати.

Керування насос-помпою RS-360SH реалізовано через n-канальний польовий транзистор IRLZ44N (T1), який працює в режимі ключа. Позитивний вивід помпи підключено до лінії 5 В живлення, а негативний — до стоку транзистора IRLZ44N. Вітік транзистора з'єднано із загальною шиною GND. Керуючий електрод підключено до цифрового виходу GPIO23 модуля ESP32 через обмежувальний резистор, що зменшує імпульсні струми заряду ємності затвора.

Додатково між Gate і GND встановлено резистор підтягування, який забезпечує гарантоване закривання транзистора при відсутності сигналу керування.

Оскільки помпа є індуктивним навантаженням, паралельно її виводам встановлено захисний діод типу 1N4007, увімкнений у зворотному напрямку відносно живлення, для придушення імпульсів самоіндукції при вимиканні транзистора. Це підвищує надійність роботи силової частини та захищає IRLZ44N від перенапруг.

Запропонована схема є технічно обґрунтованою, електрично сумісною та забезпечує стабільну роботу пристрою в складі IoT-системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						36
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

Логіка функціонування системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів складається з етапів ініціалізації, циклічного моніторингу сенсорів, прийняття рішень щодо дозування, контролю рівня витратних матеріалів, індикації та передавання даних у хмарне середовище.

Після подачі живлення виконується етап ініціалізації апаратних і програмних ресурсів. На цьому етапі конфігуруються цифрові входи та виходи, ініціалізується інтерфейс I²C для взаємодії з лазерним давачем відстані VL53L0X і OLED-дисплеєм SSD1306, задаються параметри роботи ультразвукового давача HC-SR04, а також встановлюється з'єднання з мережею Wi-Fi. Далі виконується підключення до обраної IoT-платформи для подальшого передавання телеметричних даних. У разі відсутності з'єднання реалізується механізм повторних спроб підключення з фіксованим інтервалом.

Після завершення ініціалізації система переходить у основний циклічний режим роботи (рис. 3.1). У межах головного циклу з певною періодичністю здійснюється опитування ультразвукового давача HC-SR04 з метою виявлення руки користувача. Для цього формується короткий імпульс на вході Trig, після чого вимірюється тривалість імпульсу на вході Echo, пропорційна відстані до об'єкта. Якщо виміряна відстань є меншою за встановлений пороговий рівень, формується ознака присутності руки.

З метою усунення хибних спрацювань алгоритм передбачає програмну фільтрацію результатів вимірювання. Лише за умови підтвердження наявності руки активується процедура дозування.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Богуславський А.А.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					<i>37</i>	<i>16</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

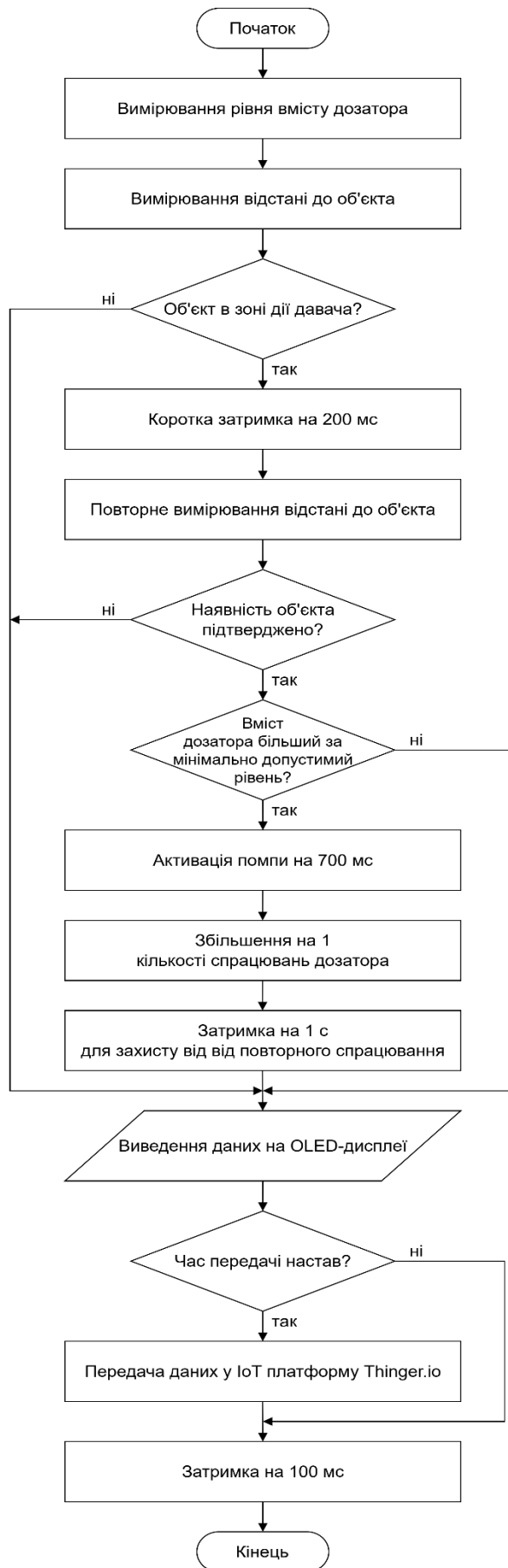


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи циклічної підпрограми у системі контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

Перед увімкненням насос-помпи виконується перевірка рівня витратних матеріалів в резервуарі. Для цього зчитується поточне значення відстані з лазерного давача VL53L0X, встановленого у верхній частині ємності. На основі каліброваних граничних значень (максимальна та мінімальна відстань) обчислюється відсотковий рівень заповнення резервуара. Якщо рівень є нижчим за критичний поріг, дозування блокується, на дисплеї відображається попереджувальне повідомлення, а в IoT-платформу передається сигнал про необхідність поповнення витратного матеріалу.

У разі достатнього рівня рідини активується силовий ключ на польовому транзисторі, що забезпечує подачу живлення на насос-помпу RS-360SH. Час роботи помпи визначається програмно та відповідає необхідному об'єму дозування. Після завершення цього інтервалу помпа вимикається, а в пам'яті системи інкрементується лічильник спрацювань.

Паралельно з основними процесами реалізується періодичне оновлення інформації на OLED-дисплеї. На екран виводяться поточний рівень антисептика у відсотках, кількість виконаних дозувань, стан Wi-Fi-з'єднання та службові повідомлення. Оновлення дисплея здійснюється з меншою частотою, ніж опитування сенсорів, щоб зменшити навантаження на процесор.

Окремий блок алгоритму відповідає за передавання даних у хмарну IoT-платформу. З визначеним інтервалом часу система формує пакет телеметричних даних, що включає рівень витратних матеріалів, кількість спрацювань за певний період та стан пристрою. Передавання здійснюється через захищене мережеве з'єднання. У випадку втрати зв'язку дані можуть тимчасово буферизуватися в оперативній пам'яті та передаватися після відновлення підключення.

Розроблений алгоритм забезпечує комплексну реалізацію функцій безконтактного дозування, локального відображення інформації та дистанційного моніторингу рівня витратних матеріалів. Його структура є модульною, що спрощує подальшу модернізацію, а застосування програмної фільтрації, перевірки порогових значень і контролю з'єднання підвищує надійність та стабільність роботи всієї IoT-системи.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Підпрограма setup()

Підпрограма setup() виконує початкову ініціалізацію апаратних і програмних компонентів системи та забезпечує підготовку мікроконтролера ESP32 до подальшої роботи. Саме в ній зосереджено налаштування всіх периферійних модулів і встановлення початкових параметрів функціонування системи (рис. 3.2).

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);  
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);  
  pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);  
  digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);  
  Wire.begin(21, 22);  
  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {  
    Serial.println("OLED error");  
    while (1);  
  }  
  if (!lox.begin()) {  
    Serial.println("VL53L0X error");  
    while (1);  
  }  
  thing.add_wifi(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);  
  // Ресурс для IoT  
  thing["sanitizer"] >> [](pson &out) {  
    out["level"] = antisepticLevel;  
    out["doses"] = doseCounter;  
    out["wifi"] = WiFi.RSSI();  
  };  
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг підпрограми setup()

На початку підпрограми виконується налаштування режимів роботи виводів мікроконтролера за допомогою функції pinMode(). Вивід TRIG_PIN конфігурується як вихід для формування керуючого імпульсу ультразвукового давача HC-SR04, тоді як ECHO_PIN встановлюється як вхід для прийому відбитого сигналу. Вивід PUMP_PIN налаштовується як вихід і використовується для керування насосом через силовий ключ. Одразу після цього виконується команда

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

digitalWrite(), яка забезпечує вимкнений стан помпи на початковому етапі, що є важливим для запобігання її випадковому запуску під час ініціалізації системи.

Наступним кроком є ініціалізація шини I²C. Через цю шину здійснюється обмін даними з OLED-дисплеєм та лазерним давачем відстані VL53L0X. Явне задання виводів дозволяє уникнути конфліктів із типовими налаштуваннями та забезпечує гнучкість при проєктуванні схеми.

Після цього виконується ініціалізація OLED-дисплея за допомогою методу display.begin(). У випадку, якщо дисплей не відповідає або не підключений належним чином, виводиться повідомлення про помилку у послідовний порт, а виконання програми зупиняється за допомогою нескінченного циклу. Це дозволяє уникнути подальшого виконання програми у некоректному стані та полегшує діагностику несправностей.

Аналогічно виконується перевірка працездатності лазерного давача VL53L0X за допомогою виклику lox.begin(). У разі невдалої ініціалізації також виводиться повідомлення про помилку та зупиняється виконання програми. Це забезпечує гарантовану наявність усіх критично важливих компонентів перед переходом до основного алгоритму роботи системи.

Далі у підпрограмі здійснюється підключення до бездротової мережі Wi-Fi за допомогою методу thing.add_wifi(). Значення ідентифікатора мережі та пароля зберігаються у зовнішньому файлі конфігурації, що підвищує безпеку та зручність супроводу коду. Після встановлення з'єднання мікроконтролер отримує можливість взаємодії з хмарною IoT-платформою.

Завершальним етапом підпрограми є визначення ресурсу для IoT-платформи Thingier.io. Створюється віртуальний ресурс, який дозволяє передавати структуровані дані у хмарне середовище. У цьому ресурсі формуються три основні параметри: рівень витратного матеріалу (level), кількість виконаних дозувань (doses) та рівень сигналу Wi-Fi (wifi). Використання такого підходу забезпечує зручну інтеграцію з інформаційною панеллю платформи та дозволяє здійснювати віддалений моніторинг стану системи.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.2 Підпрограма loop()

Підпрограма loop() реалізує основний цикл роботи системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів і виконується безперервно після завершення ініціалізації, забезпечуючи опитування сенсорів, прийняття рішень, керування виконавчими пристроями та обмін даними з хмарною платформою (рис. 3.3).

```
void loop() {
  thing.handle();
  // ---- Виявлення руки ----
  float distance = measureDistanceHC();
  if (distance > 0 && distance < triggerDistance) {
    delay(200);
    float confirm = measureDistanceHC();

    if (confirm > 0 && confirm < triggerDistance) {
      handDetected = true;
    }
  } else {
    handDetected = false;
  }
  // ---- Контроль рівня ----
  antisepticLevel = measureLevelVL53();
  // ---- Дозування ----
  if (handDetected && antisepticLevel > minLevelPercent) {
    activatePump();
    delay(1000); // захист від повторного спрацювання
  }
  // ---- OLED ----
  updateDisplay();
  // ---- Передача в Thingier ----
  if (millis() - lastSendTime > sendInterval) {
    thing.stream("sanitizer");
    lastSendTime = millis();
  }
  delay(100);
}
```

Рисунок 3.3 – Лістинг підпрограми loop()

На початку кожної ітерації циклу викликається функція thing.handle(), яка відповідає за підтримання з'єднання з IoT-платформою та обробку вхідних і вихідних повідомлень. Це дозволяє системі працювати у реальному часі, своєчасно передаючи дані.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Далі реалізується підсистема виявлення руки користувача за допомогою ультразвукового давача. Спочатку викликається функція `measureDistanceHC()`, яка повертає виміряну відстань до об'єкта. Якщо отримане значення знаходиться у межах допустимого діапазону (більше нуля та менше заданого порогу `triggerDistance`), виконується додаткова перевірка шляхом повторного вимірювання після короткої затримки. Такий підхід дозволяє зменшити ймовірність хибних спрацювань, викликаних шумами або випадковими перешкодами. Якщо обидва вимірювання підтверджують наявність об'єкта, змінна `handDetected` встановлюється у істинне значення, інакше — скидається.

Після цього виконується контроль рівня витратних матеріалів у резервуарі. Для цього використовується функція `measureLevelVL53()`, яка зчитує дані з лазерного давача VL53L0X та перетворює їх у відсоткове значення заповнення. Отримане значення зберігається у змінній `antisepticLevel` і надалі використовується для прийняття рішення щодо можливості дозування.

Блок дозування реалізує керування помпою системи. Якщо дві умови виконуються одночасно — виявлено руку користувача та рівень витратного матеріалу перевищує мінімально допустиме значення (`minLevelPercent`), — викликається функція `activatePump()`, яка вмикає насос на визначений проміжок часу. Після цього додається затримка тривалістю 1000 мс, яка виконує роль захисту від повторного спрацювання та запобігає надмірному витрачання рідини при тривалому перебуванні руки у зоні дії сенсора.

Наступним етапом є оновлення інформації, що відображається на OLED-дисплеї. Виклик функції `updateDisplay()` забезпечує виведення актуальних даних, таких як рівень витратних матеріалів, кількість дозувань та стан підключення до мережі. Це дозволяє користувачу безпосередньо контролювати роботу системи без необхідності доступу до хмарної платформи.

Далі реалізовано механізм періодичної передачі даних до IoT-платформи. За допомогою функції `millis()` визначається час, що минув з моменту останньої передачі. Якщо цей інтервал перевищує задане значення `sendInterval`, виконується виклик `thing.stream()`, який ініціює відправлення структурованих даних до

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідного ресурсу у Thinger.io. Після цього оновлюється значення змінної lastSendTime, що дозволяє коректно відрахувати наступний інтервал передачі.

У завершальній частині циклу використовується коротка затримка, яка обмежує частоту виконання циклу та зменшує навантаження на процесор. Це також сприяє стабільності роботи сенсорів та запобігає надмірно частому опитуванню апаратних компонентів.

3.2.3 Функція measureDistanceHC()

Функція measureDistanceHC() реалізує процедуру вимірювання відстані за допомогою ультразвукового датчика HC-SR04 та використовується для виявлення наявності руки користувача у зоні спрацювання дозатора (рис. 3.4).

```
float measureDistanceHC() {  
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);  
    delayMicroseconds(5);  
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);  
  
    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);  
    float distance = duration * 0.034 / 2.0;  
    return distance;  
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг функції measureDistanceHC()

На початку функції формується керуючий імпульс на виводі TRIG_PIN. Спочатку встановлюється низький логічний рівень для стабілізації датчика, після чого генерується короткий імпульс тривалістю 10 мкс високого рівня. Цей імпульс ініціює випромінювання ультразвукової хвилі. Далі за допомогою функції pulseIn() вимірюється тривалість високого рівня сигналу на виводі ECHO_PIN, що відповідає часу проходження ультразвуку до об'єкта та назад. На основі отриманої тривалості обчислюється відстань до об'єкта у сантиметрах з використанням швидкості звуку в повітрі. Обчислене значення повертається як результат роботи функції та надалі використовується в алгоритмі прийняття рішення про дозування.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3.2.4 Функція measureLevelVL53()

Функція measureLevelVL53() призначена для визначення рівня витратних матеріалів в резервуарі за допомогою лазерного давача відстані VL53L0X (рис. 3.5).

```
float measureLevelVL53() {
    VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;

    lox.rangingTest(&measure, false);

    if (measure.RangeStatus != 4) {
        float distance = measure.RangeMilliMeter;
        float percent = 100.0 * (tankEmptyDistance - distance) /
            (tankEmptyDistance - tankFullDistance);

        if (percent < 0) percent = 0;
        if (percent > 100) percent = 100;

        return percent;
    }
    return antisepticLevel;
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг функції measureLevelVL53()

В середині функції створюється структура, у яку записуються результати вимірювання, отримані внаслідок виклику методу rangingTest(). У разі коректного вимірювання, коли код стану не відповідає помилці, відстань до поверхні рідини зчитується у міліметрах та перетворюється у відсоткове значення заповнення резервуара. Для цього використовується попередньо задане калібрування, що відповідає відстаням для повного та порожнього станів. Додатково реалізовано обмеження результату в межах від 0 до 100 %, що підвищує стабільність роботи системи. Якщо вимірювання виконати неможливо, функція повертає попереднє значення рівня, зберігаючи безперервність даних.

3.2.5 Функція activatePump()

Підпрограма activatePump() реалізує керування виконавчим механізмом системи — помпою для дозування витратних матеріалів (рис. 3.6).

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void activatePump() {
    digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH);
    delay(doseTime);
    digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);
    doseCounter++;
}

```

Рисунок 3.6 – Лістинг функції activatePump()

При її виклику на керуючий вивід PUMP_PIN подається високий логічний рівень, що призводить до відкриття польового транзистора та запуску помпи. Насос працює протягом заданого часу doseTime, який визначає об'єм однієї дози антисептика. Після завершення дозування на керуючий вивід подається низький рівень, і насос вимикається. Одночасно збільшується лічильник doseCounter, що дозволяє вести облік кількості здійснених дозувань для статистичного аналізу та передачі даних у хмарну платформу.

3.2.6 Функція updateDisplay()

Функція updateDisplay() забезпечує формування та виведення актуальної інформації на OLED-дисплей (рис. 3.7).

```

void updateDisplay() {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0, 0);

    display.print("Level: ");
    display.print(antisepticLevel);
    display.println(" %");

    display.print("Doses: ");
    display.println(doseCounter);

    display.print("WiFi: ");
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
        display.println("OK");
    else
        display.println("ERR");

    display.display();
}

```

Рисунок 3.7 – Лістинг функції updateDisplay()

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початку виконання дисплей очищується, після чого встановлюється стандартний розмір шрифту та початкова позиція курсора. Далі послідовно виводяться значення рівня витратного матеріалу у відсотках, кількість виконаних дозувань та стан підключення до мережі Wi-Fi. Для індикації стану мережі використовується перевірка статусу з'єднання, що дозволяє відобразити зрозумілі повідомлення про коректну або аварійну роботу каналу зв'язку. Завершальним етапом є виклик методу `display.display()`, який фізично оновлює вміст екрана. Такий підхід забезпечує користувачу наочний локальний контроль параметрів системи.

3.3 Налаштування хмарної IoT-платформи Thingier.io для реалізації дистанційного контролю

Для забезпечення функції дистанційного контролю рівня витратних матеріалів та моніторингу стану пристрою було використано хмарну IoT-платформу Thingier.io. Налаштування платформи виконувалося після завершення розробки апаратної частини та ПЗ мікроконтролера ESP32. Основною метою конфігурації було забезпечення стабільного приймання телеметричних даних, їх візуалізації у вигляді інформаційної панелі (dashboard) та реалізації механізму віддаленого контролю.

Після входу до особистого кабінету платформи було створено новий пристрій (Device) типу ESP32. У відповідних полях конфігурації було вказано унікальний ідентифікатор пристрою (Device ID), ім'я користувача (Username) та згенерований ключ доступу (Device Credential). Ці параметри були використані у програмному коді мікроконтролера для встановлення захищеного з'єднання з сервером платформи. Таким чином було забезпечено аутентифікацію пристрою та захист переданих даних.

На наступному етапі було налаштовано ресурси (Resources), які визначають структуру даних, що передаються з ESP32. У середовищі платформи було створено ресурс типу «Data» із назвою, наприклад, sanitizer, який приймав такі параметри: рівень витратних матеріалів у відсотках (level), кількість спрацювань дозатора

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(doses) та показник рівня сигналу Wi-Fi (wifi). Структура ресурсу відповідала JSON-формату, що формувався у програмному коді мікроконтролера. Після збереження конфігурації було перевірено коректність відображення вхідних даних шляхом тестового надсилання телеметрії.

Для візуалізації інформації було створено інформаційну панель (Dashboard). У межах панелі було додано віджети типу Numeric Display для відображення поточного рівня витратних матеріалів та кількості дозувань, а також індикатор рівня сигналу Wi-Fi. Для зручності контролю критичних станів було додано Progress Bar, який відображав заповнення резервуара у відсотках із кольоровою індикацією: зелений колір при рівні понад 30 %, жовтий — при зниженні до 15–30 %, червоний — при рівні нижче 15 %. Це дозволило візуально оцінювати стан системи без необхідності аналізу числових значень (рис. 3.8).

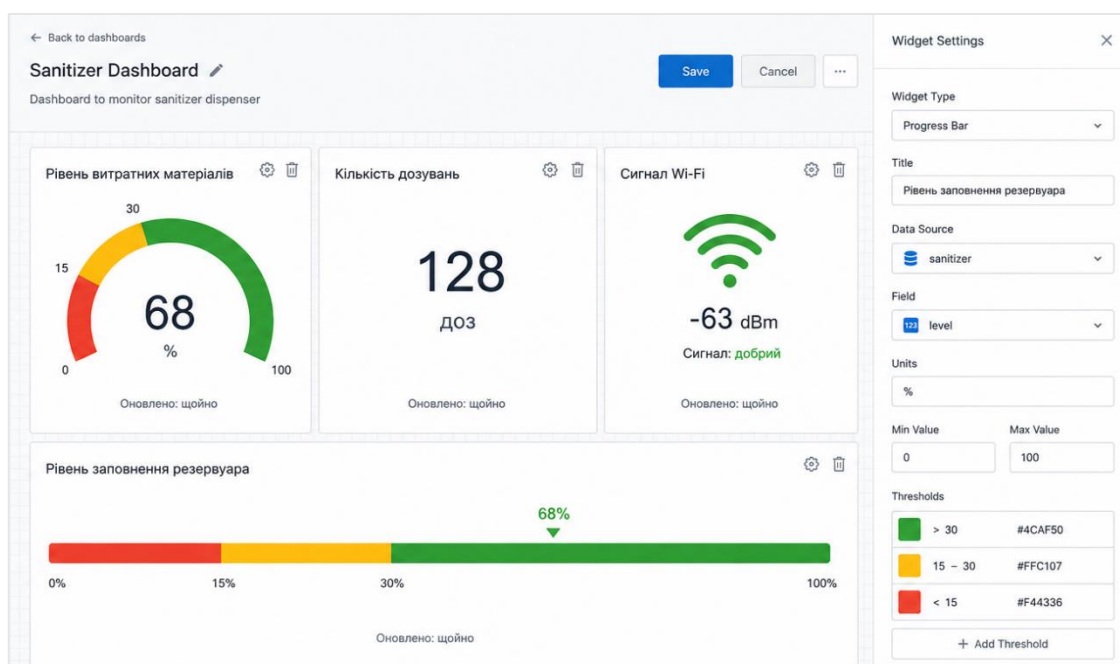


Рисунок 3.8 – Процес створення та налаштування інформаційної панелі в Thingier.io

Додатково було налаштовано механізм сповіщень, що дозволяло зберігати історію змін рівня витратних матеріалів. Збереження телеметрії у базі даних платформи забезпечило можливість подальшого аналізу інтенсивності використання пристрою, формування графіків споживання та оцінки

періодичності обслуговування. Для цього було створено Data Bucket із визначеним інтервалом зберігання та активовано запис даних із відповідного ресурсу.

У процесі налаштування було також перевірено стабільність з'єднання пристрою з сервером. Для цього використовувалися вбудовані інструменти моніторингу платформи, які відображають статус підключення (Online/Offline), час останнього обміну даними та частоту оновлення телеметрії. Було встановлено період передавання даних кожні 60 секунд, що забезпечило баланс між актуальністю інформації та оптимізацією мережевого трафіку.

З метою підвищення надійності системи було протестовано сценарій втрати мережевого з'єднання. У разі відключення Wi-Fi пристрій автоматично намагався повторно встановити зв'язок із мережею та сервером платформи. Після відновлення з'єднання передавання даних продовжувалося у штатному режимі, що підтвердило коректність реалізованого алгоритму обробки помилок.

У результаті виконаного налаштування хмарної IoT-платформи було забезпечено повноцінну інтеграцію пристрою для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів із віддаленою системою моніторингу. Платформа дозволила реалізувати централізований збір даних, їх візуалізацію у реальному часі, накопичення історичної інформації та контроль технічного стану пристрою. Використання Thingier.io забезпечило масштабованість рішення та можливість подальшого розширення функціоналу без внесення суттєвих змін до апаратної частини системи.

3.4 Моделювання та тестування системи

На початковому етапі перевірки працездатності розробленої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів було виконано її попереднє моделювання у спеціалізованому середовищі проектування Circuit Designer. Застосування засобів моделювання дозволило мінімізувати ризики помилок у схемотехніці, перевірити коректність підключення основних вузлів та протестувати програмну логіку до виготовлення фізичного прототипу.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У середовищі Cirkuit Designer було створено електричну модель системи з використанням доступних компонентів бібліотеки. Особливу увагу приділено перевірці правильності формування подільника напруги для сигналу Echo давача HC-SR04 та коректності підключення шини I²C. За результатами аналізу схеми було підтверджено відсутність конфліктів за рівнями напруги, замикань та перевантажень вихідних портів (рис. 3.9).

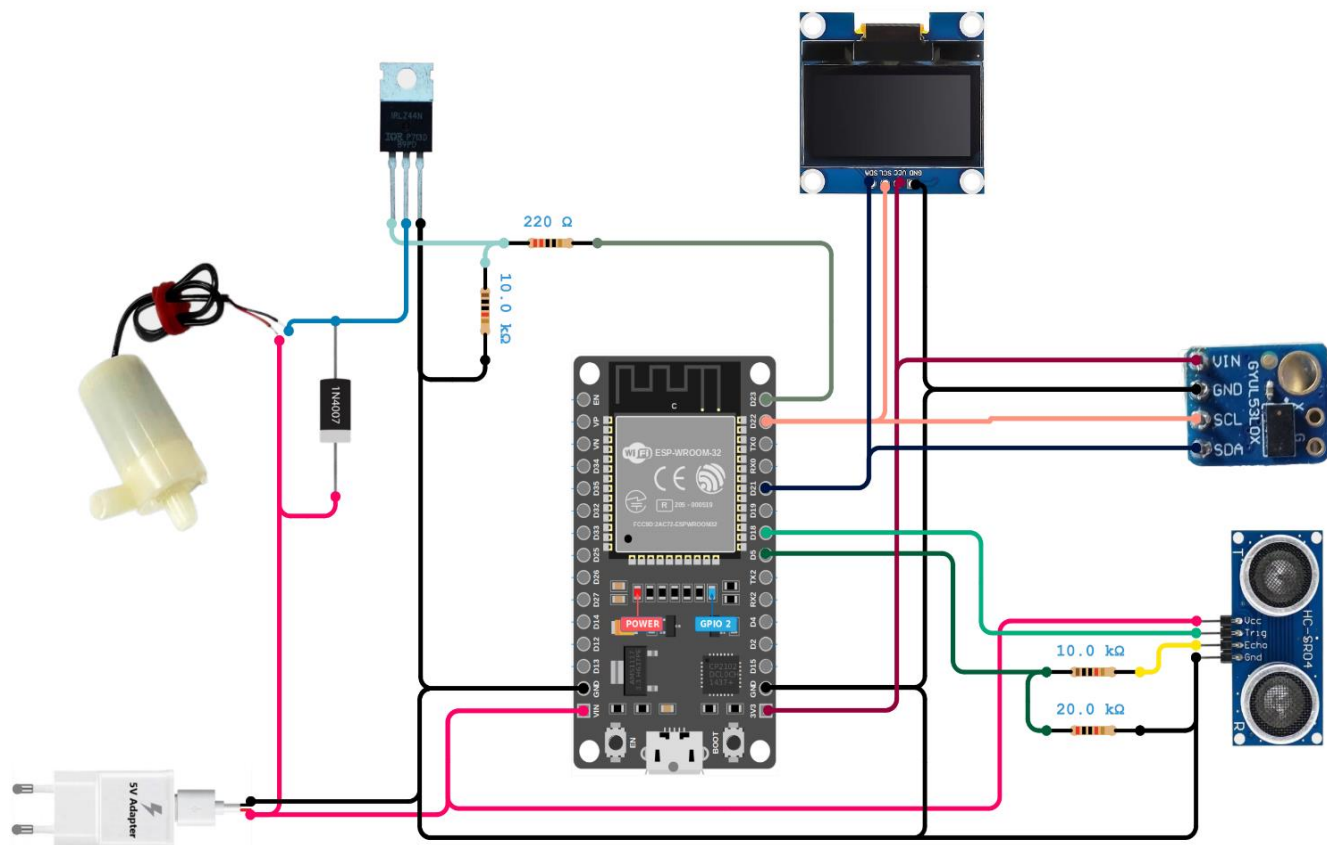


Рисунок 3.9 – Модель системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів

У процесі тестування перевірено коректність обробки сигналів від датчиків, функціонування алгоритму фільтрації вимірювань, відображення інформації на OLED-дисплеї та передачу телеметричних даних у середовище IoT. Симуляція дозволила виявити та усунути помилки, пов'язані з часовими затримками, блокуванням виконання програми під час вимірювання імпульсу та конфліктами ініціалізації I²C-пристроїв.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Після завершення етапу моделювання було виготовлено фізичний прототип системи на основі макетної плати. Монтаж виконано відповідно до розробленої принципової схеми з урахуванням розділення силових і сигнальних ліній. На першому етапі тестування здійснювалася перевірка коректності живлення всіх компонентів. За допомогою мультиметра було підтверджено наявність стабільної напруги 5 В для помпи та 3,3 В для логічних модулів. Також перевірено відсутність перегріву стабілізатора та силового транзистора.

Другий етап включав тестування окремих функціональних вузлів. Спочатку перевірено роботу OLED-дисплея: відображення службових повідомлень та параметрів системи здійснювалося без спотворень. Далі протестовано ультразвуковий давач HC-SR04 шляхом піднесення руки на різні відстані; отримані значення порівнювалися з контрольними вимірюваннями лінійкою. Похибка вимірювання не перевищувала 1–2 см у діапазоні до 30 см, що є допустимим для задачі детекції руки.

Наступним етапом було тестування лазерного давача VL53L0X для визначення рівня рідини. Давач встановлювався у верхній частині резервуара, після чого проводилося калібрування для визначення значень відстані при повному та порожньому стані ємності. Було зафіксовано стабільні показники з мінімальними коливаннями, що підтвердило доцільність використання технології Time-of-Flight для контролю рівня.

Окремо тестувалася силова частина. У процесі короткочасного вмикання помпи через транзистор IRLZ44N контролювалася стабільність перемикання та відсутність паразитних імпульсів. Захисний діод ефективно гасив імпульси самоіндукції, що підтверджено відсутністю збоїв у роботі мікроконтролера під час вимикання помпи.

Завершальний етап передбачав комплексне тестування системи у штатному режимі. При піднесенні руки до сенсора активувалося дозування, на дисплеї оновлювалася інформація, а дані про рівень витратних матеріалів та кількість спрацювань передавалися до хмарної платформи. Було виконано серію з понад 100 циклів дозування, у ході яких система продемонструвала стабільність роботи без

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зависань і помилкових спрацювань. Додатково перевірено сценарій критично низького рівня рідини — у цьому випадку помпа блокувалася, а на дисплеї та у хмарному середовищі відображалося попередження.

Результати моделювання та експериментального тестування підтвердили працездатність розробленої системи. Попереднє комп'ютерне моделювання дозволило оптимізувати схемотехнічні рішення та програмну логіку, а фізичне тестування продемонструвало відповідність реальних параметрів очікуваним характеристикам. Отримані результати підтверджують правильність вибраних технічних рішень та готовність системи до практичного використання.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок

Електроенергія і агрегати, які працюють на її основі, – велике благо для людства, проте, якщо поводитися з нею неправильно, вона може завдати величезної шкоди і людям, і навколишньому середовищу. Для запобігання нещастя фахівцями розробляється безліч правил, інструкцій, технічних регламентів, багато пунктів яких буквально написані людською кров'ю. З метою забезпечення надійного функціонування електротехніки та захисту праці на виробництвах, де основним фактором служить електричний струм, написані і введені в дію «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок». Діючі в даний час правила безпеки є обов'язковими для виконання всіма промисловими споживачами електричної енергії, незалежно від приналежності підприємства.

Положення правил з охорони праці стосуються, перш за все, електротехнічних, електротехнологічних і деяких неелектротехнічних працівників, які контактують з різними частинами електрообладнання в процесі його технічного обслуговування, перемикання, монтажних-налагоджувальних робіт. Також під дію правил підпадають їх роботодавці: юридичні особи та фізичні особи, вони зобов'язані гарантувати безпечну працю на своїх підприємствах. З метою підвищення надійності виробництва роботодавці можуть встановити навіть більш жорсткі вимоги до електробезпеки. Працівники повинні бути ознайомлені з інструкціями з охорони їх праці та належним чином проінструктовані. Електроустановки і лінії, які беруть участь у виробничому, передавальному і розподільчому процесах, повинні бути справні і забезпечені різними захисними пристосуваннями для надання долікарської допомоги.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Богуславський А.А.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					<i>53</i>	<i>6</i>
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осунівська Г.М.</i>						

Всі учасники виробничого процесу з використанням електричної енергії повинні періодично навчатися і підтверджувати свої знання щодо електробезпеки в роботі (присвоюються групи допуску з I по V і видаються типові посвідчення), а деякі категорії осіб – ще й проходити медогляди (якщо працівник молодший 21 року, щорічні). При порушенні цих правил винні особи несуть різні види відповідальності [33].

При роботі з електроустановками передбачений ряд правил, які спрямовані на їх неухильне дотримання [33]:

- роботи в рамках ординарної експлуатації електричних агрегатів оформляються нарядами, розпорядженнями або списками;
- підготовка робочої зони і допуск на неї оформляється відповідним дозволом;
- для здійснення робочих маніпуляцій потрібен допуск, відповідно до присвоєної групи електробезпеки;
- здійснення підстраховки і контролю в період проведення робіт;
- офіційне оформлення початку і кінця перерви в роботах, також їх повного завершення або ж переведення бригади на іншу ділянку.

Документом визначається коло працівників, на яких покладається відповідальність за безпеку впродовж робочих процесів на електроустановках [33]:

- підписують наряди-допуски, що віддають розпорядження або посвідчують список робіт з поточного використання електроагрегатів (необхідна група допуску з електробезпеки – 4-5) – вони зобов'язані попередньо оцінити потрібність виконання роботи і можливість її безпечного здійснення;
- склад бригад, вибір виконавця робіт і попередній інструктаж повинні відповідати вимогам безпеки;
- дозволяють підготовку робочих зон (група допуску – 4-5 або адміністративно-технічні працівники, уповноважені розпорядженням керівництва підприємства) – відповідають за своєчасне і безпечне від'єднання електрообладнання від мережі і його заземлення, координування робочого часу і розташування оперативних бригад, облік бригад і їх членів, відстеження

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформації про терміни проведення поточних маніпуляцій і часу подачі напруги на електроустановки;

– призначені відповідальні керівники робіт (групи допуску – 4-5, призначаються при використанні різних механізмів і вантажопідійомників, знеструмленні електричного обладнання, на кабельних лініях зв'язку недалеко від транспортних магістралей, на повітряних лініях, які знову запускаються, або ж їх фазному ремонті, при роботах під напругою) – зобов'язані стежити за виконанням етапів підготовки робочого місця, достатністю та правильністю інструктування учасників бригади, загальною безпекою робочих моментів, вживати додаткових заходів електробезпеки;

– допускають до робіт (член електротехнічного персоналу з групою допуску 3-4) – несе відповідальність за достатність заходів безпеки, відповідність їх нарядом-допуском або розпорядженням, вимогам майбутніх маніпуляцій на електрообладнанні, правильність і обсяг проведеного інструктажу;

– безпосередні виконавці (група електродопуску – 3-4) – відповідають за правильно підготовлену робочу зону, наявність, достатність і справність індивідуальних і загальних електрозахисних засобів, інструментарію і пристосувань, наочних інформаційних засобів у вигляді знаків безпеки або попереджувальних плакатів, огорож небезпечних місць, за дотримання правилами всіх членів бригади і контроль за безпекою їх дій під час робочого процесу;

– спостерігачі в бригадах (група електродопуску – 2) – стежать за відповідністю робочої зони заходам з безпеки; чіткістю і достатністю попереднього інструктажу; збереженням заборів на приводах, огорож і заземлюючих пристроїв; охороною виконавців робіт від електротравм;

– всі працівники – члени бригади, здійснюють поточні роботи на електроустановках, зобов'язані дотримуватися правил техніки безпеки, інструкції та вказівки, що стосуються охорони їх праці.

Способи і засоби, що використовують для забезпечення безпеки людини під час роботи з електроустановками, використовуються залежно від умов дотику до струмоведучої частини. Глибоке розуміння умов дотику і ступеня небезпеки

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ураження в кожному випадку дозволить обрати необхідну комбінацію способів і засобів захисту. Треба розуміти, що захист від прямого дотику запобігає ураженню електричним струмом за відсутності пошкодження ізоляції провідників, проте захист у разі непрямого дотику – у випадку одиничного пошкодження [33].

Кожному відомо про важливість якості електричної ізоляції, тобто ізоляції чи конструкції виконаної з діелектрика. Цим діелектриком вкриваються провідники струму або розділяються один від одного. Ця ізоляція запобігає протіканню струму завдяки великому опору.

Ізоляція в електроустановках до 1000 В поділяється на наступні види:

- основна ізоляція, що являє собою шар діелектрика, яким вкриваються частини під напругою;
- додаткова ізоляція – ізоляція, яка є самостійною та призначена для захисту коли основна ізоляція пошкоджена;
- подвійна ізоляція – це поєднання основної та додаткової ізоляції.

Під час створення комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій було забезпечено дотримання заходів безпеки при експлуатації електроустановок.

4.2 Електромагнітні випромінювання: спектр, біологічний вплив і методи захисту

Електромагнітні поля (ЕМП) та радіочастотне випромінювання охоплюють широкий діапазон частот – від ультранизких (< 300 Гц) до надвисоких (до сотень ГГц). У традиційному поділі виокремлюють індустріальну НЧ-ділянку (50–400 МГц), комунікаційну СВЧ-смугу (0,4–2 ГГц) та мікрохвильовий діапазон (2–300 ГГц). Низькочастотні поля індукують у провідниках й біотканинах струми, що спричиняють електричну стимуляцію нервово-м'язових структур. У СВЧ-діапазоні основним механізмом є діелектричний нагрів: полярні молекули (насамперед вода) орієнтуються в змінному полі, перетворюючи енергію радіохвиль на тепло [33].

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клінічні та лабораторні дослідження демонструють, що експозиція інтенсивних СВЧ-полів (щільність потоку > 10 мВт/см²) призводить до локальних температурних підйомів на 1–2 °С протягом 15–30 хв, що може спричиняти коагуляцію білків і порушення провідності нервових волокон. На рівнях випромінювання нижче граничних ($< 0,1$ мВт/см²) фіксуються лише швидкі електродинамічні реакції без стійких патофізіологічних змін; проте довготривалі дослідження вказують на можливість біологічного резонансу, коли окремі частотні компоненти модулюють активність іонних каналів мембран [33].

Оцінка ризиків базується на вимірюваннях електричної та магнітної складових полів за допомогою векторних антен і широкосмугових спектральних аналізаторів, а також на математичному моделюванні розподілу SAR (Specific Absorption Rate) в об'ємах організму. Міжнародні стандарти ICNIRP та IEEE встановлюють граничні значення: локальний SAR ≤ 2 Вт/кг і електрична напруженість поля < 61 В/м у діапазоні 900–1800 МГц [34].

Захист від ЕМП забезпечують як пасивні, так і активні методи. Пасивні включають екранування, фільтрацію провідників, заземлення та організацію відстаней від джерела до об'єкта захисту. Найпростіші екрани – суцільні металеві листи (мідь, алюміній, сталь) – забезпечують коефіцієнт загасання SE до 80–100 дБ у СВЧ-діапазоні за відсутності щілин і дефектів. Для герметизації використовують бутилкаучукові стрічки, провідні фарби на основі срібла чи графіту, що додають цілісності провідному шару.

Поглиначі на основі феритів і композитів поєднують високу діелектричну проникність із магнітними втратами, забезпечуючи широкосмугове поглинання. Легкі магнітні пухкі матеріали знижують масу конструкції, а тонкоплівкові композити (МІМ) товщиною < 1 мм використовуються для вузькосмугових застосувань (GPS, Wi-Fi), часто з нанодобавками (графен, нановолокна) для розширення смуги поглинання.

Перфоровані й тканинні екрани на основі мікросіток забезпечують баланс між гнучкістю та ефективністю: проникнення мінімізується при $d < \lambda/20$, а

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

співвідношення площі отворів до загальної площі визначає кінцевий SE. Такі матеріали застосовують для захисту кабелів, вентиляційних люків, де потрібна повітропроникність [34].

Активні методи передбачають генерацію протифазних сигналів для деструктивної інтерференції завадового поля або використання систем моніторингу спектрального складу ЕМП із автоматичним підключенням блокторів, фільтрів чи систем примусового заземлення у разі перевищення нормативних рівнів.

У комплексних системах поєднують зовнішні металеві корпуси, внутрішні шари феритового поглинача та тонкоплівкові резонансні елементи, що забезпечує широкосмугове загасання та точкове пригнічення перешкод у критичних діапазонах. Сучасні металополімерні композити з направленим орієнтуванням частинок додають можливість керувати анізотропією властивостей і оптимізувати масогабарити екрану [34].

Ефективна система захисту від електромагнітного випромінювання базується на принципах комплексності, багаторівневості та адаптивності, поєднуючи класифікацію впливів, методи оцінки ризиків та різнотипні захисні рішення.

Працівники, які експлуатуватимуть систему контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій, повинні знати та використовувати методи захисту від електромагнітного випромінювання.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

ВИСНОВКИ

В межах виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій, призначену для автоматизованого моніторингу стану дозатора, контролю рівня антисептичного засобу та дистанційного передавання інформації користувачу.

У процесі виконання роботи проаналізовано предметну область та технічне завдання, визначено основні вимоги до системи та розглянуто існуючі засоби безконтактного дозування. За результатами аналізу встановлено, що більшість наявних рішень не забезпечують функцій дистанційного моніторингу рівня витратних матеріалів та мають обмежені можливості автоматизованого контролю.

Синтезовано структуру комп'ютеризованої системи та спроектовано електричну принципову схему пристрою. Обґрунтовано вибір мікроконтролерного модуля ESP32, ультразвукового давача HC-SR04, лазерного давача VL53L0X, OLED-дисплея SSD1306, помпи RS-360SH. Використання обраної елементної бази дозволило реалізувати систему з достатньою функціональністю, низькою вартістю та можливістю бездротового підключення до мережі Інтернет.

Реалізовано алгоритм функціонування системи та ПЗ для мікроконтролера ESP32. Програмна частина забезпечує виявлення руки користувача, контроль рівня витратних матеріалів, керування процесом дозування, оновлення інформації на дисплеї та передачу даних на хмарну IoT-платформу.

Виконано моделювання окремих елементів системи у спеціалізованому середовищі розробки та проведено тестування фізичного прототипу пристрою. Результати експериментальної перевірки підтвердили коректність роботи алгоритму, стабільність функціонування апаратної частини та працездатність дистанційного моніторингу рівня витратних матеріалів.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chen N., Arbogast J.W., Henry D., Allen T.T., O'Hara S., Xia C.H. A simulation study of touch-free automatic alcohol-based handrub dispensers on hand hygiene disruption in healthcare settings. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 193, 2024, 110312.
2. Littau C., Burns N., Pelkey J., Slobodyan V. A Comparative Study of Touch-free Hand Hygiene Dispenser Battery Life: Impact on Sustainability and Maintenance Frequency. *American Journal of Infection Control*, 2013. 41(6), P 68-69.
3. Huang J., Xie J. Intelligent water dispenser system based on embedded systems. In *Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications*, 2010. P. 279-282.
4. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
5. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
6. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
7. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart rhythm with increased informativeness. *Acta mechanica et automatic*. 2018. Vol. 12. P. 311-315.
8. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevskaya O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. *Applied Computer Science*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 75-83.
9. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.
10. Zozulia A., Lytvynenko I., Lutsyk N., Lupenko S., Yasniy O. Method of vector rhythmcardiosignal automatic generation in computer-based systems of heart rhythm analysis. *Visnyk of TNTU*. 2020. Vol. 97, P. 122-132.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

12. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

13. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 117, No 1, P. 54–61.

14. Strembitskyi M., Yavorska M., Palamar A., Kochan R., Yeromenko V. A comparative study of bug algorithms for robot navigation. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025), Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol. 4057 P. 312-321.

15. Yasniy O., Lutsyk N., Demchyk V., Osukhivska H., Malyshevska O. The prediction of structural properties of Ni-Ti shape memory alloy by the supervised machine learning methods. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 73–78.

16. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

17. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851.

					<i>КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

18. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

19. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

20. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

21. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

22. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

23. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

24. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

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

27. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

28. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

29. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

30. Palamar A., Karpinskyy M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

31. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

32. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Львів: Манголія 2006, 2007. 499 с.

33. Жидецький В.Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів : підручник. Львів : Афіша, 2020. 176 с.

34. Ткачук К.Н., Халімовський Н.О. Основи охорони праці. К. : Основа, 2006. 448 с.

					КС КРБ 123.145.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедру КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РІВНЯ ВИТРАТНИХ
МАТЕРІАЛІВ БЕЗКОНТАКТНИХ СЕНСОРНИХ ДОЗАТОРІВ НА ОСНОВІ
ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ PhD Луцик Н.С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Богуславський А.А.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.145.00.00.

1.2 Виконавець

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

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-188 від «24» квітня 2026 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютеризованої системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проєктування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів призначена для автоматичного подавання визначеної кількості антисептика без фізичного контакту користувача з елементами пристрою. Система також забезпечує дистанційний контроль рівня витратних матеріалів і передавання відповідної інформації на віддалену IoT-платформу для подальшого моніторингу.

Основне призначення системи полягає у зменшенні ризику поширення інфекційних захворювань, мінімізації людського фактора та підвищенні ефективності обслуговування дозувальних пристроїв.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка функціонального, надійного та масштабованого апаратно-програмного комплексу, який забезпечує безконтактне дозування антисептичних засобів і дистанційний моніторинг стану витратних матеріалів з використанням IoT-технологій. Система повинна поєднувати простоту експлуатації, енергоефективність та можливість інтеграції з сучасними хмарними сервісами.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом автоматизації є процес дозування антисептичних засобів та контроль рівня їх залишку в резервуарі. Об'єкт характеризується періодичним використанням, залежністю інтенсивності роботи від кількості користувачів та необхідністю безперервного контролю працездатності системи. Середовище експлуатації передбачає роботу в приміщеннях з нормальними кліматичними умовами.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути комп'ютеризованою, модульною та орієнтованою на використання в IoT-середовищі. Вона має забезпечувати стабільну роботу в автономному режимі з можливістю дистанційного моніторингу та мінімальними вимогами до обслуговування. Архітектура системи повинна передбачати можливість подальшого розширення функціональних можливостей.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структура системи повинна включати апаратну та програмну складові, об'єднані в єдиний функціональний комплекс. До складу апаратної частини мають входити мікроконтролерний модуль, сенсори виявлення присутності користувача та контролю рівня витратних матеріалів, виконавчі механізми дозування та модуль зв'язку.

Функціонування системи повинно забезпечувати:

- автоматичне виявлення користувача;
- дозування фіксованої кількості витратних матеріалів;
- контроль рівня витратних матеріалів;
- формування та передавання даних на IoT-платформу.

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

Обмін даними між компонентами системи повинен здійснюватися з використанням дротових та бездротових інтерфейсів. Для внутрішньої взаємодії допускається застосування стандартних цифрових інтерфейсів, таких як I²C, SPI або UART. Для зовнішнього зв'язку з IoT-платформою система повинна підтримувати бездротову передачу даних через Wi-Fi або інші сумісні технології. Передавання даних має бути захищеним, із забезпеченням цілісності та достовірності інформації.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати кілька режимів роботи, зокрема:

- робочий режим автоматичного дозування;
- режим моніторингу та передавання даних;
- сервісний режим для налаштування та обслуговування;
- аварійний режим у разі виявлення несправностей.

Перехід між режимами повинен здійснюватися автоматично або за допомогою програмних налаштувань.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Конструкція та програмна архітектура системи повинні забезпечувати можливість подальшої модернізації. Передбачається розширення функціоналу шляхом додавання нових сенсорів, підтримки альтернативних IoT-платформ, впровадження аналітичних модулів та інтеграції з іншими системами автоматизації.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати безперервну та стабільну роботу в умовах тривалої експлуатації. Вимоги до надійності передбачають:

- стійкість до короткочасних збоїв живлення;
- збереження працездатності при втраті зв'язку з IoT-платформою;
- відновлення роботи без втрати критичних даних.

Показники надійності системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Система повинна виконувати такі основні функції:

- безконтактне дозування антисептичних засобів;
- контроль рівня витратних матеріалів в резервуарі;
- індикацію стану системи;
- передавання даних про стан і рівень витратних матеріалів.

Задачі системи мають виконуватися в режимі реального часу з мінімальними затримками.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення повинно базуватися на сучасному мікроконтролері з достатнім обсягом пам'яті та обчислювальних ресурсів. Компоненти системи мають бути енергоефективними, доступними та сумісними між собою. Конструкція повинна забезпечувати зручність монтажу, обслуговування та експлуатації.

Вимоги до елементної бази розробки:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широковживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. блок-схема алгоритму роботи;
 4. результати моделювання системи.

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

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютеризованої системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02 – 15.02
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютеризованої системи	20.04 – 25.04
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютеризованої системи	26.04 – 05.05
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.05 – 07.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	08.06 – 14.06
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06.2026

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

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

Додаток Б
Перелік елементів

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Діоди</u>		
D1	SM4007PL A7 SOD-123F 1000V/1A	1	
	<u>Роз'єми</u>		
DC1	Роз'єм живлення DC005	1	
	<u>Дисплеї</u>		
H1	OLED дисплей DLC0096DNOG-W-10	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	0805-0,125-10 кОм±5%	1	
R2	0805-0,125-220 Ом±5%	1	
R3	0805-0,125-10 кОм±5%	1	
R4	0805-0,125-20 кОм±5%	1	
	<u>Транзистори</u>		
T1	Mosfet IRFZ44N TO220	1	
	<u>Модулі</u>		
U1	Wi-Fi модуль ESP-32 DevKit V1	1	
U2	Лазерний давач відстані GYVL53L0X	1	
U3	Ультразвуковий давач відстані HC-SR04	1	
	<u>Виконавчі механізми</u>		
WP1	Мембранний насос 12 В, 2 л/хв	1	

КС КРБ 123.145.00.00 ПЕ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Богуславський А.А.		
Перевірив		Луцик Н.С.		
Рецензент		Литвиненко Я.В.		
Н. Контр.		Тиш Е.В.		
Зав. каф.		Осухівська Г.М.		
Пристрій для контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі ІoТ-технології Перелік елементів				
		Літ.	Арк.	Акрушів
			74	1
ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи контролю рівня витратних матеріалів безконтактних сенсорних дозаторів на основі IoT-технологій.

```
#include <WiFi.h>
#include <ThingrESP32.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_VL53L0X.h>
#include "secret.h"

// ----- PIN CONFIG -----
#define TRIG_PIN 18
#define ECHO_PIN 5
#define PUMP_PIN 23

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1

// ----- OBJECTS -----
ThingrESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
Adafruit_VL53L0X lox = Adafruit_VL53L0X();

// ----- VARIABLES -----
unsigned long lastSendTime = 0;
unsigned long sendInterval = 60000; // 60 секунд

unsigned long doseTime = 700; // мс роботи помпи
unsigned int doseCounter = 0;

float antisepticLevel = 0;
bool handDetected = false;

float triggerDistance = 12.0; // см
float minLevelPercent = 10.0; // мінімальний рівень

// Калібрування резервуара (мм)
float tankEmptyDistance = 200;
float tankFullDistance = 40;

// -----
```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);

  digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);

  Wire.begin(21, 22);

  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println("OLED error");
    while (1);
  }

  if (!lox.begin()) {
    Serial.println("VL53L0X error");
    while (1);
  }

  thing.add_wifi(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

  // Ресурс для IoT
  thing["sanitizer"] >> [](pson &out) {
    out["level"] = antisepticLevel;
    out["doses"] = doseCounter;
    out["wifi"] = WiFi.RSSI();
  };
}

// -----

void loop() {

  thing.handle();

  // ---- Виявлення руки ----
  float distance = measureDistanceHC();

  if (distance > 0 && distance < triggerDistance) {
    delay(200);
    float confirm = measureDistanceHC();

    if (confirm > 0 && confirm < triggerDistance) {
      handDetected = true;
    }
  } else {
    handDetected = false;
  }

  // ---- Контроль рівня ----

```

```

antisepticLevel = measureLevelVL53();

// ---- Дозування ----
if (handDetected && antisepticLevel > minLevelPercent) {
    activatePump();
    delay(1000); // захист від повторного спрацювання
}

// ---- OLED ----
updateDisplay();

// ---- Передача в Thinger ----
if (millis() - lastSendTime > sendInterval) {
    thing.stream("sanitizer");
    lastSendTime = millis();
}

delay(100);
}

// -----

float measureDistanceHC() {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
    float distance = duration * 0.034 / 2.0;
    return distance;
}

// -----

float measureLevelVL53() {
    VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;

    lox.rangingTest(&measure, false);

    if (measure.RangeStatus != 4) {
        float distance = measure.RangeMilliMeter;
        float percent = 100.0 * (tankEmptyDistance - distance) /
            (tankEmptyDistance - tankFullDistance);

        if (percent < 0) percent = 0;
        if (percent > 100) percent = 100;

        return percent;
    }
    return antisepticLevel;
}

```

```

// -----
void activatePump() {
  digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH);
  delay(doseTime);
  digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);
  doseCounter++;
}

// -----

void updateDisplay() {
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setCursor(0, 0);

  display.print("Level: ");
  display.print(antisepticLevel);
  display.println(" %");

  display.print("Doses: ");
  display.println(doseCounter);

  display.print("WiFi: ");
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
    display.println("OK");
  else
    display.println("ERR");

  display.display();
}

```