

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматика і комп'ютеризовані технології  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизація та робототехніка  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення системи автоматизації для моніторингу роботи  
приладобудівного приміщення з використанням ESP32  
(тема)

Виконав:  
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-1  
Юрченко О. Д.  
(прізвище, ініціали)

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

Тип програми освітньо-професійна

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

Керівник доц. каф. КІТАР Бронніков А. І.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматика і комп'ютеризовані технології

Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизація та робототехніка

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 24 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Юрченку Олегу Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації для моніторингу роботи приладобудівного приміщення з використанням ESP32

затверджена наказом університету від 03 червня 2024 р. № 544Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи Плата ESP-WROOM-32, датчики DHT11, HC-SR04, виконавчі пристрої SG90, DC Motor, база даних MySQL, мова програмування C++, Python.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Вступ;

Аналіз літератури за темою;

Вибір і обґрунтування технічних засобів;

Розроблення системи;

Охорона праці;

Висновки;

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_ Слайди у форматі PowerPoint презентації у кількості 20 слайдів з розширенням .pptx.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури та інформаційних джерел за темою роботи	05.05.2024-10.05.2024	Виконано
2	Складання технічного завдання	11.05.2024-12.05.2024	Виконано
3	Опис тенденцій сучасного виробництва, використання систем моніторингу на виробництві та аналіз існуючих аналогів	13.05.2024-15.05.2024	Виконано
4	Опис постанови завдань для розробки системи моніторингу	15.05.2024	Виконано
5	Вибір та обґрунтування технічних засобів для створення лабораторного макету системи моніторингу	16.05.2024-17.05.2024	Виконано
6	Розробка структурної схеми системи моніторингу	18.05.2024	Виконано
7	Проведення розрахунків для визначення основних параметрів системи моніторингу	18.05.2024-20.05.2024	Виконано
8	Розробка алгоритму роботи системи моніторингу	21.05.2024	Виконано
9	Збірка фізичного макету системи моніторингу	22.05.2024	Виконано
10	Розробка ПЗ системи моніторингу	23.05.2024-30.05.2024	Виконано
11	Підготовка та оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу до атестаційної роботи	30.05.2024-10.06.2024	Виконано
12			
13			
14			
15			

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

доц. каф. КІТАР Бронніков А. І.

(посада, прізвище, ініціали)

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

« 10 » червня 2024 р.



\_\_\_\_\_  
(підпис)

Юрченко О.Д.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить: 73 с., 13 табл., 24 рис., 3 дод., 23 джерела.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС, ДАТЧИК, УЛЬТРАЗВУКОВА ВІДМИВКА ДП, ESP-WROOM-32.

У кваліфікаційній роботі описано та проведено аналіз сучасного виробництва, його системи датчиків, впровадження систем моніторингу на виробництві, виробничого процесу ультразвукової відмивки друкованих плат. Розглянуті основні технічні засоби для розроблюваної системи моніторингу, зібрано віртуальний та фізичний макети системи, розроблено програмне забезпечення.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи виробничого процесу за рахунок розробки макету системи моніторингу виробничого процесу з використанням ESP32.

Об'єкт розробки – процес моніторингу параметрів рівня води та температури для відмивання друкованих плат, а також присутності людини на пропускну пункті приладобудівного приміщення.

Предмет розробки – система автоматизації моніторингу роботи приладобудівного приміщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем моніторингу на виробництві;
- провести вибір основних елементів та технічних засобів для розробки системи моніторингу;
- розробити схему підключення системи;
- зібрати фізичний макет системи;
- розробити програмне забезпечення для системи.

## ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work contains: 73 p., 13 tabl., 24 fig., 3 adj., 23 sources.

MONITORING SYSTEM, AUTOMATION, PRODUCTION PROCESS, SENSOR, ULTRASONIC CLEANING OF PRINTED CIRCUIT BOARD, ESP-WROOM-32, LIQUID FLOW CONTROL SYSTEM.

The qualification work describes and analyses modern production, its sensor system, implementation of monitoring systems in production, and the production process of ultrasonic cleaning of printed circuit boards. The main technical components for the monitoring system under development were investigated, the virtual and physical models of the system are assembled, and software is developed.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the production process by developing a model of the production process monitoring system using ESP32.

The object of development is the process of monitoring the parameters of water level and temperature for washing printed circuit boards, as well as the presence of a person at the checkpoint of the instrumentation room.

The subject of development is an automation system for monitoring the operation of the instrumentation room.

To achieve this goal, the following tasks need to be solved:

- analyze existing monitoring systems in production;
- select the main elements and technical means for the development of the monitoring system;
- develop a system connection scheme;
- assemble a physical model of the system.
- develop software for the system.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз літератури за темою.....	12
1.1 Сучасне виробництво та його система датчиків .....	12
1.2 Використання систем моніторингу на виробництві .....	15
1.3 Аналіз існуючих систем моніторингу .....	17
1.4 Опис виробничого процесу для системи моніторингу.....	20
1.5 Опис основних вимог до системи моніторингу .....	24
2 Вибір і обґрунтування технічних засобів .....	26
2.1 Вибір основних елементів для створення моделі .....	26
2.2 Схема підключення .....	34
2.3 Структурна схема .....	37
2.4 Розрахунки .....	39
2.5 Визначення оптимальних налаштувань ПД-регулятора .....	43
2.6 Дослідження стійкості САУ за алгебраїчними критеріями.....	45
3 Розроблення системи моніторингу виробничого приміщення ультразвукової відмивки ДП.....	48
3.1 Блок-схема алгоритму роботи системи моніторингу .....	48
3.2 Збирання фізичного макету системи моніторингу .....	49
3.3 Розробка програмного забезпечення для системи моніторингу.....	51
3.3.1 Вибір засобів автоматизації розробки ПЗ.....	51
3.3.2 Розробка структури БД.....	53

3.3.3 Розробка програми для керування системою моніторингу.....	56
4 Охорона праці .....	64
4.1 Робота з електрообладнанням .....	64
4.2 Вимоги до робочого місця.....	65
Висновки .....	68
Перелік джерел посилання .....	70
Додаток А Програмний код розроблюваного ПЗ.....	74
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	83
Додаток В Відомість кваліфікаційної роботи .....	101

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ДП – друкована плата;

КІТАР – комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК – програмований логічний контролер;

САПР – система автоматизованого проєктування і розрахунку;

САК – система автоматичного керування;

СКБ – Студентське конструкторсько-технологічне бюро;

СУБД – система управління базами даних;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки;

PKS – Process Knowledge System;

UX – user experience.

## ВСТУП

Основною тенденцією сучасної промисловості є зменшення людського впливу на виробничу діяльність. Для сучасного виробничого середовища притаманні такі аспекти як впровадження передових технологій, автоматизація виробничих процесів, підвищення ефективності та надійності систем управління.

Для забезпечення надійної роботи на підприємстві впроваджуються системи моніторингу, які забезпечують безпеку виробничого процесу за рахунок відстеження параметрів різних приладів, верстатів, навколишнього середовища, тощо та мають можливість інформувати про потенційну небезпеку та/або запобігати виникненню аварійних ситуацій. Такі системи моніторингу параметрів та станів окремих частин виробничого процесу забезпечують надійну та безперебійну роботу на підприємстві та мінімізують людський фактор впливу завдяки автономній та автоматизованій роботі самої системи.

З точки зору конкуренції, обігу кадрів та охорони праці системи моніторингу відіграють важливу роль. Системи моніторингу на підприємствах відіграють важливу роль, так як забезпечення стабільних та надійних умов праці гарантує збільшення на виробництві фахових спеціалістів, що також зменшує ризики для їх здоров'я.

Актуальність кваліфікаційної роботи полягає у великому попиті систем моніторингу на підприємствах для забезпечення успішної діяльності підприємства. Важливо зазначити, що приладобудівне виробництво є основною галуззю, яке забезпечує продукцією інші галузі виробництва за рахунок створення приладів, друкованих плат для монтажу і тому подібне. Ця продукція – це основа для майже будь-якого виробництва, яке пов'язане з виготовлення електронних виробів, також велика кількість виробництв, які виробляють не електронну продукцію у якості обладнання мають електронні станки, верстати, які забезпечують роботу цього виробництва.

Впровадження системи моніторингу для приладобудівного приміщення значно збільшує якість виготовленої продукції, термін виконання однієї виробничої операції та забезпечує надійну роботу виготовлення продукції.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи виробничого процесу за рахунок розробки макету системи моніторингу виробничого процесу з використанням ESP32.

Об'єкт розробки – процес моніторингу параметрів рівня води та температури для відмивання друкованих плат, а також присутності людини на пропусковому пункті приладобудівного приміщення.

Предмет розробки – система автоматизації моніторингу роботи приладобудівного приміщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем моніторингу на виробництві;
- провести вибір основних елементів та технічних засобів для розробки системи моніторингу;
- розробити схему підключення системи;
- зібрати фізичний макет системи;
- розробити програмне забезпечення для системи;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

Матеріали роботи були апробовані у збірнику студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023 (Випуск 2) [3].

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

### 1.1 Сучасне виробництво та його система датчиків

Сучасні вимоги швидкого впровадження виробничих процесів у роботу, аналізу та обробки великої кількості даних, високої швидкості обчислень і надійного зберігання інформації сприяли переходу до четвертої промислової революції (Індустрія 4.0), що в подальшому впровадило велико масштабовані інтелектуальні виробничі процеси, які пов'язані між собою, автоматизацію та роботизацію виробництв та виробничих процесів.

Основні ознаки Індустрії 4.0 включають повну автоматизацію виробництва, де керівництво над усіма процесами відбувається в реальному часі та з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Кібер-фізичні системи створюють віртуальні копії фізичних об'єктів, контролюють фізичні процеси та приймають децентралізовані рішення. Вони можуть об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в реальному часі, самостійно коригуватися та вдосконалюватися. Інтернет-технології відіграють важливу роль у забезпеченні комунікації між персоналом та машинами. Підприємства виготовляють продукцію з урахуванням індивідуальних вимог замовника та оптимізують вартість виробництва.

Сучасне виробництво неможливо уявити без вищеописаних ознак. Ці характерні ознаки можуть бути впроваджені завдяки наступним технологіям:

- Інтернет речей (Internet of Things, IoT);
- кібер-фізичні системи (Cyber Physical System);
- аналіз великої кількості даних (Big Data);
- розумне виробництво (Smart Manufacturing).

Інтернет речей (IoT) – це глобальна мережа підключених до Інтернету речей пристроїв, оснащених сенсорами, датчиками, засобами передавання сигналів. Ці цифрові пристрої можуть сприймати датчиками різноманітні сигнали з

навколишнього світу, вступати у взаємодію з іншими пристроями, обмінюватися даними з метою віддаленого моніторингу за станом об'єктів, аналізу зібраних даних і прийняття на їх основі рішень [4].

Структура IoT є складною великою мережею, яка складається з безлічі менших комп'ютерних, наукових, корпоративних мереж, які об'єднуються між собою за допомогою IP протоколу.

Основними можливостями та технологіями Інтернету речей виділяють:

- передача даних (дротова, бездротова);
- обробка даних (машинне навчання, хмарні системи);
- датчики або засоби вимірювання величин (прості та інтелектуальні датчики, складні вимірювальні комплекси);
- виконавчі пристрої.

Кібер-фізична система – це поєднання та взаємодія віртуальних макетів та обчислень з фізичними виробничими процесами. В таких системах фізичні та програмні компоненти тісно переплетені.

Кібер-фізичні системи створюють віртуальні копії об'єктів фізичного світу, контролюють фізичні процеси і приймають децентралізовані рішення. Вони здатні об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, самоналагоджуватися і самонавчатися [4].

Великі дані (Big Data) – позначення структурованих и неструктурованих даних величезних обсягів і значного розмаїття, що піддаються ефективній обробці програмних інструментів, які горизонтально масштабуються [4].

Конкретизуючи поняття великих даних можна сказати, що це сукупність різноманітних технологій, які можуть оброблювати дані, розмір яких є більшим за «стандартні» об'єми, постійно оновлювати та отримувати великий обсяг даних, а також працювати зі структурованими і мало структурованими даними у різних парадигмах.

Основними принципами роботи з великими даними виділяють наступні пункти:

- масштабованість завдяки збільшенню обчислювальних мереж без погіршення ефективності обробки даних;
- висока відмовостійкість через збільшення обчислювальних вузлів;
- обробка даних на локальних мережах для зменшення витрат на передачу даних.

Розумне виробництво (smart manufacturing) – інтегрована виробнича система, яка може реагувати на зміни в виробництві, потреби клієнтів в оперативному режимі роботи, тобто в режимі реального часу.

Розумне виробництво поділяється на три основні підкатегорії (фабрики) [4]:

- цифрові фабрики (digital factory);
- «розумні» або інтелектуальні фабрики (smart factory);
- віртуальні фабрики (virtual factory).

Цифрові фабрики відображають модель роботи виробництва, використовуючи засоби цифрового моделювання та проектування, а саме САПР, системи управління даними про продукцію, системи управління життєвим циклом продукції, верстати з ЧПУ та інші адитивні технології.

Розумна фабрика являється серійним виробництвом, яке має гнучку структуру завдяки впровадженню таких технологій, як автоматизація та роботизація. Зазвичай для розробки та управління розумними фабриками використовують АСУТП, системи управління виробничими процесами (MES), системи планування виробництва (APS), промисловий інтернет речей (ІоТ) та технології роботи з великими даними (Big Data).

Віртуальна фабрика поєднує цифрову та «розумну» фабрики в одну мережу. Така фабрика дозволяє створювати віртуальну модель всіх управлінських, організаційних, технологічних, логістичних процесів для забезпечення ефективного планування постачання та використання ресурсів виробництва за допомогою системи планування ресурсів (ERP), системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM) та системи управління ланцюгами постачання (SCM).

Кожне сучасне виробництво обладнано великою кількістю датчиків та виконавчих пристроїв, які забезпечують автоматизовану та надійну роботу виробництва. Датчик – це пристрій, який виявляє зміни в навколишньому середовищі та передає отриману інформацію у вигляді сигналу. Датчик перетворює параметри фізичних явищ у вимірюваний електричний сигнал, який в подальшому можна зчитати, відобразити або обробити. Структурна схема датчика, який складається з чутливого елементу та перетворювача наведена на рисунку 1.1.

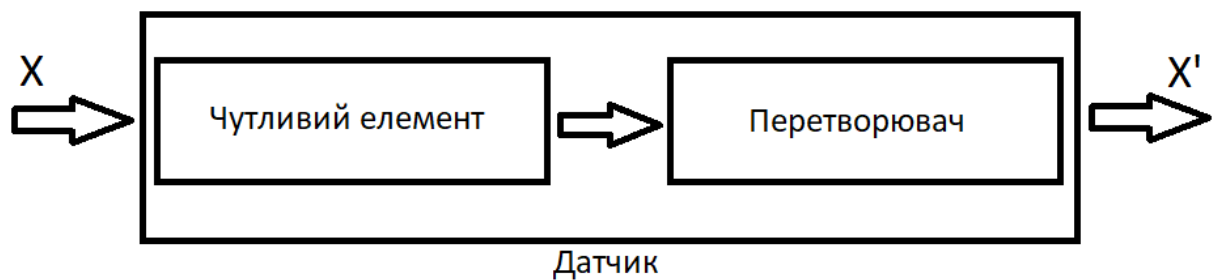


Рисунок 1.1 – Структурна схема датчика

Вхідна величина ( $X$ ) зчитується чутливим елементом датчика, потім вона посилається у перетворювач, який перетворює вхідну величину ( $X$ ) у вихідний сигнал ( $X'$ ). Наприклад, вхідна температура перетворюється на електричний сигнал.

Класифікують датчики за наступними критеріями:

- за принципом перетворення енергії (активні, пасивні);
- за видом вхідної величини (електричні, теплові, оптичні, механічні та інші);
- за принципом дії (резистивні, індуктивні, електромагнітні, ємнісні та інші);
- за видом вихідного сигналу (дискретні, аналогові, цифрові).

## 1.2 Використання систем моніторингу на виробництві

Для вирішення питань віддаленого керування виробничими процесами в реальному часі, забезпечення надійної і безперебійної роботи виробництва та

зменшення фактору людини на підприємствах впроваджують системи моніторингу роботи обладнання і персоналу.

Моніторингова система повинна вирішувати наступні завдання [5]:

- збір даних з датчиків;
- аналіз та обробка даних;
- збереження зібраних та/або оброблених даних (локальні бази даних, хмарні сховища);
- відображення отриманих даних у прийнятному для людини вигляді (графік, діаграма, числове значення, індикатор);
- формування сигналів управління на виконавчі пристрої;
- створення звітності про стан виробничого процесу.

Розглядаючи систему моніторингу як складову виробничого процесу необхідно звернути увагу на вибір апаратного забезпечення та розробку програмного забезпечення.

Апаратна складова системи моніторингу повинна відповідати усім вимогам, які до неї висуваються, зокрема вибір засобів накопичення інформації відповідно до основних параметрів моніторингу, енергоефективне споживання потужності, яке надається системі моніторингу для економії виробничих ресурсів та безперебійної роботи системи, відповідність габаритних розмірів відносно виробничого процесу, за яким ведеться спостереження. Програмне забезпечення (ПЗ) повинно підтримувати обробку великої кількості даних та проводити високонавантажені обчислення, вміти працювати в асинхронному режимі накопичення даних та формування вихідних сигналів на виконавчі пристрої, а також за потреби швидкого розповсюдження мати відкритий вихідний код програми.

Виробничий процес формує відповідну інформацію про стан окремих компонентів або усього процесу. Ця інформація опрацьовується завдяки системі моніторингу. Після обробки цих даних формуються вихідні сигнали на виконавчі пристрої, які дозволяють ефективно приймати управлінські рішення з віддаленої

точки доступу. У ході аналізу впровадження систем моніторингу у виробництво було висунуто наступні пункти, які описують важливість розробки системи моніторингу:

- високий рівень підтримки програмного забезпечення за рахунок використання технологій швидкого розгортання та підтримки програмного забезпечення;
- просте масштабування системи через додавання нових параметрів моніторингу та/або модулів сигналізації;
- низька вартість та легке застосування у виробництві відносно аналогічних систем моніторингу на підприємствах.

### 1.3 Аналіз існуючих систем моніторингу

Для визначення основних вимог до розроблюваної системи потрібно проаналізувати існуючі системи моніторингу. Велика кількість програмного і апаратного забезпечення систем моніторингу є складовою суцільної системи автоматизації виробничими процесами.

Simatic – це серія програмованих логічних контролерів (ПЛК) та систем автоматизації, які розроблені компанією Siemens. Simatic має систему вводу-виводу Simatic ET 200, яка використовується в шафах управління і за їх межами. Особливістю даної системи вводу-виводу є її модульна конструкція, яка дозволяє легко і швидко масштабуватися завдяки додаванню таких технологічних модулів, як модуль цифрового і аналогового вводу-виводу, модуль захисту, перетворювачі частоти, повнофункціональні процесори S7-1500 та інші [6].

Виробник виділяє наступні функції та технології, які оснащені в Simatic:

- інтегровані функції вимірювання та обчислення;
- гнучкість та зносостійкість системи завдяки міцній структурі та впровадженню децентралізованої системи комунікації приладів;

– інтегрована система діагностики та управління конфігураціями, які дозволяють швидко виявляти та усувати несправності та знижувати трудовитрати на проектування.

На рисунку 1.2 наведена багатопроцесорна система управління SIMATIC TDC.



Рисунок 1.2 – Багатопроцесорна система управління SIMATIC TDC [6]

Experion Process Knowledge System (PKS) – розподілена система керування виробництвом від компанії Honeywell. Дана система має розподілену структуру, яка дозволяє об'єднувати інтегровані виробничі процеси в єдину систему замість декількох незалежних систем, яка забезпечує безперешкодний глобальний доступ до даних, аварійних сигналів та попереджень у модулях сигналізації та журналу подій [7].

Завдяки Experion Remote Gateway забезпечується безпечний віддалений доступ до керуючого обладнання, яке обновлюється в системі реального часу. Такий підхід значно знижує трудовитрати на виробництві, дозволяє відстежувати

процес на предмети можливих несправностей та швидко відсилати дані до диспетчерського персоналу через Ethernet.

Також компанія Honeywell розробила нову методологію ощадливого виробництва (lean production), яка має розподілену та модульну архітектуру, що дозволяє розроблювати та модифікувати кожний рівень системи, не прибігаючи до відповідних коригувань у інших рівнях, яка називається LEAP. Методологія LEAP наведена на рисунку 1.3.

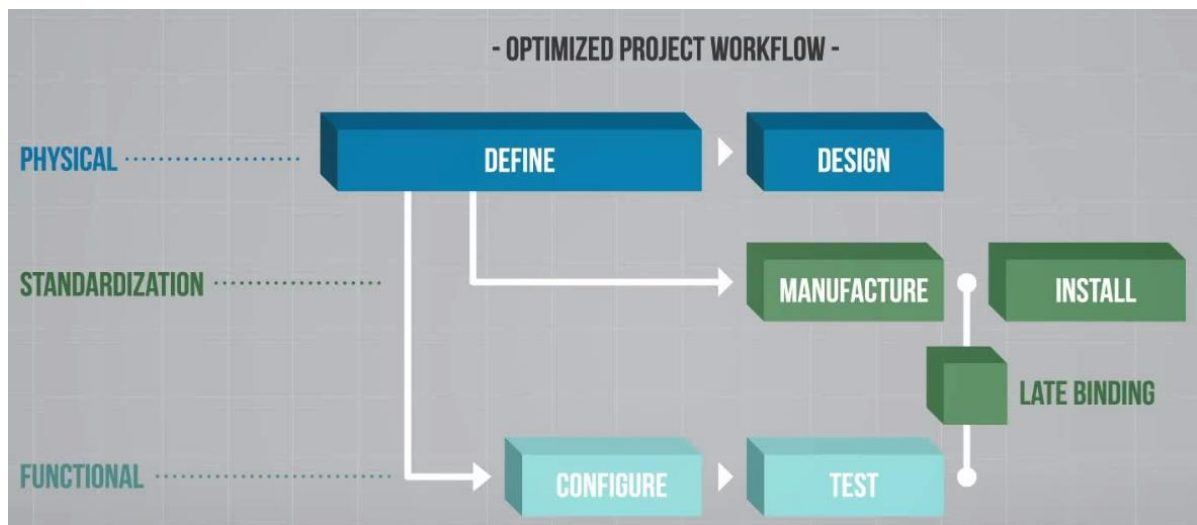


Рисунок 1.3 – Методологія ощадливого виробництва LEAP від Honeywell[7]

У таблиці 1.1 наведено порівняння вищеприписаних систем автоматизації за їх функціоналом і впровадженими технологіями.

Таблиця 1.1 – Порівняння Siemens SIMATIC і Honeywell Experion PKS

Характеристика	Siemens SIMATIC	Honeywell Experion PKS
Функціонал	Моніторинг процесів, збір та аналіз даних, віддалене керування процесами, інтеграція зі сторонніми системами	Моніторинг процесів, віддалене керування процесами, збір та аналіз даних, моніторинг процесів

Продовження таблиці 1.1

Характеристика	Siemens SIMATIC	Honeywell Experion PKS
Сфери застосування	Енергетична, транспортна, будівельна промисловості	Хімічна, нафтогазова, фармацевтична промисловість
Архітектура	Централізована з розподіленою системою ПЛК	Розподілена на усіх рівнях
Масштабність	Підходить для великих та середніх підприємств	Підходить для великих підприємств
Інтерфейс користувача	Віддалений та графічний з власним програмним забезпеченням	Віддалений та графічний у веб-додатку та з програмним забезпеченням
Протоколи зв'язку	Profibus, Modbus, Profinet	Modbus, Ethernet/IP, Hart

#### 1.4 Опис виробничого процесу для системи моніторингу

Системи моніторингу приладобудівного приміщення можуть включати в себе велику кількість параметрів, які вони відстежують. Параметри обираються згідно виробничим процесам, за якими відбувається спостереження.

Для розроблюваної системи моніторингу приладобудівного приміщення було обрано виробничий процес відмивання друкованих плат. Виробничий процес відмивки друкованої плати (ДП) є важливим етапом у виробництві електронних пристроїв. Друкована плата являється основою для монтажу електронних компонентів на неї. Відповідно, чистота друкованої плати безпосередньо впливає на надійність та працездатність кінцевого приладу. Залишки флюсу, пилу, масл та інших забруднень можуть призвести до таких проблем, як корозія, електричні витoki, короткі замикання та інші несправності.

Основні причини важливості процесу відмивки друкованих плат:

- забезпечення надійної і безперебійної роботи приладу та зниження ризиків виникнення відмов під час експлуатації виробу;
- забезпечення захисту від корозії за рахунок усунення агресивних хімічних речовин, які можуть викликати корозію мідних доріжок та пайок;
- забезпечення кращої адгезії паяльних матеріалів до доріжок та контактних майданчиків;
- забезпечення відповідності стандартам якості для високотехнологічних галузей, таких як авіація, медична техніка і тому подібне.

Розрізняють деякі способи відмивки друкованих плат:

- ручна відмивка;
- струменеве миття;
- ультразвукова кавітація;
- парова відмивка.

Ручне очищення друкованих плат є одним з самих простих та базових методів видалення забруднень, залишків флюсу, пилу, масла. Такий метод очищення використовується для малих одиничний виробництв, в яких не використовуються автоматизовані системи очищення. На рисунку 1.4 наведено процес ручного очищення друкованої плати.

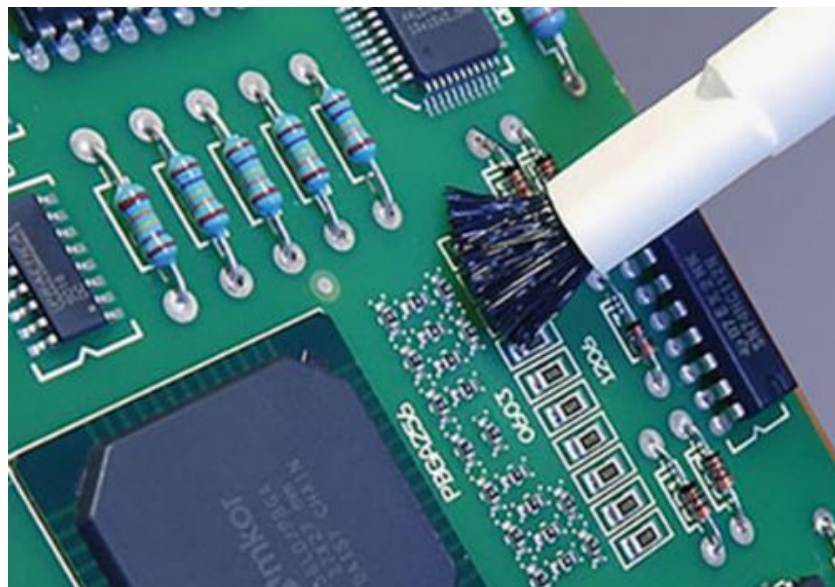


Рисунок 1.4 – Ручне очищення ДП [8]

Переваги ручного очищення ДП:

- гнучкість роботи з різними типами плат і забруднень;
- дешевизна та простота обладнання (тканини, ватні палички, щітки, ізопропіловий спирт);
- повний контроль над процесом.

Недоліки ручного очищення ДП:

- трудомісткий процес очищення, який займає великий проміжок часу та сил;
- ризик пошкодження плати, що може призвести до браку приладу;
- ризик виникнення захворювань оператора під час процесу без надійного захисту.

Струменева відмивка друкованих плат відбувається за допомогою спеціального оснащення, яке використовує високошвидкісні струмені миючого розчину. Використовує спеціальні розчини, які розпилюються на плату. На рисунку 1.5 наведена струменева відмивка ДП.



Рисунок 1.5 – Струменева відмивка ДП [8]

Процес струменевої відмивки ДП починається з завантаження плат в обладнання за допомогою спеціальних тримачів або транспортної стрічки.

Наступним етапом є розпилення миючого розчину спеціальними насадками. Далі під високим тиском формуються потужні струмені миючого розчину, які спрямовані на друковані плати, що дозволяє змивати забруднення саме завдяки високому тиску і високій швидкості струменів. Для змиття миючого розчину та залишків розчинених забруднень відбувається промивка плат чистою водою, після чого проходить процес сушки ДП за допомогою гарячого повітря або інфрачервоних ламп [9].

Ультразвукова відмивка ДП є одним з найефективніших методів очищення поверхонь ДП. Ультразвукова відмивка використовує ультразвукові хвилі для створення кавітації в рідині, що призводить до ефективного очищення поверхонь. На рисунку 1.6 наведена ультразвукова відмивка ДП.

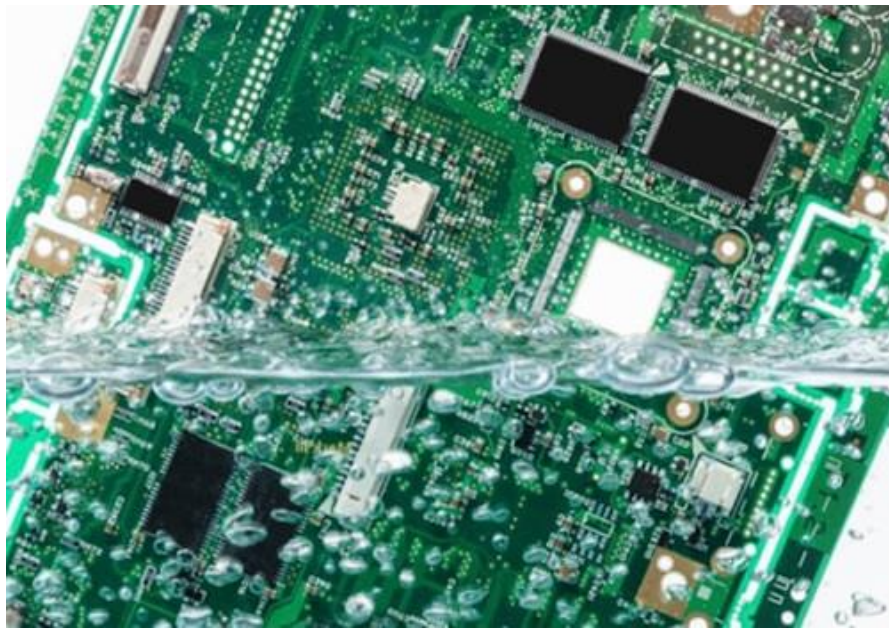


Рисунок 1.6 – Ультразвукова відмивка ДП [8]

Очищення друкованих плат ультразвуком здійснюється в спеціальних установках. Вони складаються з коливального резервуару для очищувальної рідини, коливальних систем і ультразвукового генератора. Друковані плати занурюються в рідину, потім генератор і коливальні системи створюють в рідині вібрації в ультразвуковому діапазоні, які створюють в рідині зростаючі кавітаційні

бульбашки. Коли бульбашки зростають, вони вибухають [9]. В результаті вибуху утворюється струмінь рідини, який розчиняє домішки на платі. Процес утворення та вибух бульбашок наведено на рисунку 1.7.

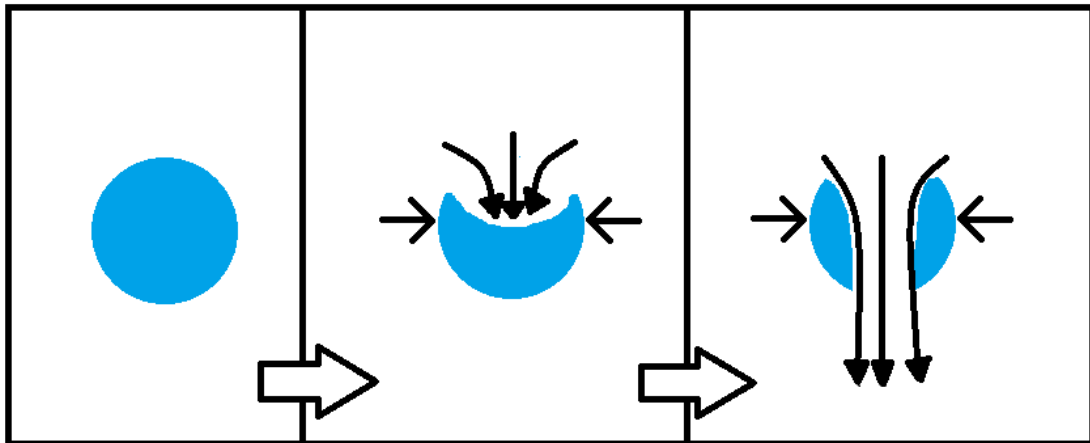


Рисунок 1.7 – Процес утворення та вибух кавітаційних бульбашок

Ультразвукова відмивка зазвичай забезпечує більш глибоке очищення завдяки кавітації, що дозволяє видалити забруднення з найдрібніших щілин і під компонентами. Струменева відмивка може бути швидшою для простих плат, але ультразвукова відмивка часто забезпечує більш високу якість очищення за трохи більший час. Ультразвукова відмивка вимагає спеціальних ультразвукових ванн, тоді як струменеві системи можуть бути більш універсальними, але менш ефективними для складних завдань. Ультразвукова відмивка ідеально підходить для плат із високою щільністю компонентів і складною геометрією, тоді як струменева відмивка може бути більш придатною для великих обсягів стандартних плат.

### 1.5 Опис основних вимог до системи моніторингу

Виходячи з опису сучасного виробництва, його систем моніторингу та аналізу існуючих аналогічних систем, можна висунути наступні вимоги до розроблюваної системи.

Розроблювана система повинна мати інтегровану систему датчиків, за допомогою яких можливо збирати інформацію з датчиків, оброблювати та аналізувати її і відповідно зберігати ці дані. Графічний інтерфейс користувача повинен бути віддалений, який відображає увесь функціонал апаратної частини системи та повинен мати можливості для формування сигналів управління на виконавчі пристрої. Необхідно також реалізувати форму звітності, яка буде відображати стан системи на кожному зазначеному проміжку часу для подальшої оптимізації та удосконалення системи. В якості виробничого процесу було обрано ультразвукову відмивку друкованих плат, так як цей спосіб очищення більше ретельно та якісно очищує ДП від залишків флюсу та може бути використаний для плат різної геометрії.

## 2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

### 2.1 Вибір основних елементів для створення моделі

Моніторинг автоматизованих систем є надзвичайно важливою темою у наш час. Зменшення ролі людини у виробництві призводить до необхідності постійного контролю та швидкого реагування на виключні ситуації. Тому наявність ефективної системи моніторингу, яка забезпечує збереження та відображення стану виробничої системи, стає край важливою [10].

Розробка системи моніторингу починається з вибору відповідних технічних засобів, які забезпечать необхідну функціональність системи та задовільнять усі вимоги до працездатності системи.

Розроблювана система моніторингу поєднує в собі інноваційні технології та функціональність для забезпечення ефективного контролю над двома важливими аспектами, а саме системою відеоспостереження та системою керування рідинними потоками. Дана система використовує за основу емуляцію виробничого процесу відмивки друкованих плат (ДП).

Основним модулем керування цієї системи є ESP-WROOM-32, який виступає як центральний мозок, координуючи роботу всіх інших компонентів. Першим модулем, який інтегрований у систему, є модуль камери спостереження. Він складається з камери спостереження OV7670. Цей модуль дозволяє отримувати відеопотік з об'єкта спостереження.

Другий модуль – це система керування рідинними потоками. Вона включає в себе датчик температури для моніторингу теплоносія, ультразвуковий датчик для вимірювання рівня рідини в бочці, серводвигун для керування вентилем зливу та електромотор. Додатково, система має індикатори стану, які використовуються для візуального сповіщення про критичні значення температури та рівня рідини. При досягненні таких значень активуються світлодіод, щоб оператор міг швидко

виявити проблему, а також п'єзодинамік для звукового сигналу у випадку критичного стану.

В якості основного органу керування виступає плата ESP-WROOM-32, яка наведена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Плата ESP-WROOM-32

Плата ESP-WROOM-32 є потужним універсальним Wi-Fi, Bluetooth, BLE MCU модулем, який призначений для широкого спектру розробки програмного та апаратного забезпечення, починаючи від низько-потужних мереж, що побудовані на датчиках і закінчуючи найбільш вимогливими задачами, такими як кодування голосу, потокова передача музики та декодування MP3 файлів [11].

Дана плата розроблена на базі чіпсету ESP32 з Wi-Fi модулем, що дозволяє створювати додатки з використанням інтернету речей, при цьому енергоспоживання модуля є наднизьким (до 20 мкА), завдяки впровадженню технології «глибокого сну».

Основні характеристики плати наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики плати ESP-WROOM-32

Назва характеристики	Значення, опис
Напруга живлення	5 В
Напруга живлення мікромодуля	від 2,2 В до 3,6 В

Продовження таблиці 2.1

Назва характеристики	Значення, опис
Діапазон частоти	від 2,4 ГГц до 2,5 ГГц
Кварцовий генератор	26 МГц і 32 кГц
Робочий струм	середній: 80 мА, максимальний: 500 мА
Діапазон робочих температур	від -40 °С до 85 °С
Wi-Fi	підтримка протоколу 802.11n до 150 Мбіт/с у режимах: клієнт, точка доступу, Sniffer, Wi-Fi Direct
Bluetooth	підтримка протоколів Bluetooth v4.2 BR/EDR та BLE specification
Датчики на борту	Датчик Холла, датчик температури

Камера OV7670 – це низьковольтний CMOS датчик зображення, який забезпечує повну функціональність однокристалльної VGA-камери та процесора обробки зображень. Зовнішній вигляд камери OV7670 наведено на рисунку 2.2.

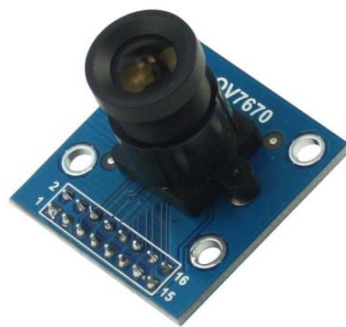


Рисунок 2.2 – Модуль камери OV7670

OV7670 забезпечує повнокадрове, субдискретизоване або віконне 8-бітне зображення в широкому діапазоні форматів, керовані через послідовну шину керування камерою інтерфейсу. Цей виріб має масив зображень, здатний працювати зі швидкістю до 30 кадрів в секунду у форматі VGA з повним контролем

користувача над якістю зображення, форматуванням і передачею вихідних даних [12].

Характеристики камери OV7670 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики камери OV7670

Назва характеристики	Значення, опис
Датчик	Однокристалічний CMOS
Розмір лінзи	1/6 дюйма
Видимий кут	25°
Максимальна кількість кадрів	30 кадрів/с
Чутливість	1,3 В/Люкс-с
Відношення сигнал/шум	46 Дб
Робочий струм	20 мА
Напруга живлення модуля	від 3 В до 5 В
Інтерфейс підключення	Шина Serial Camera Control Bus (SCCB) (аналог шини I2C, ПС)

У якості вентиля використовується серводвигун SG90, який наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Серводвигун SG90

SG90 оснащений модулем керування, який, отримавши вхідний сигнал, надає живлення електродвигуну відповідної полярності. Визначення поточного положення валу забезпечується завдяки тому, що редуктор з'єднаний з

електродвигуном через змінний резистор [13]. Даний серводвигун підходить для розробки невеликих за розміром проєктів завдяки легкості зв'язку з керуючим модулем та низькій вартості. Характеристики серводвигуну SG90 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики серводвигуну SG90

Назва характеристики	Значення, опис
Напруга живлення	від 3,5 В до 5 В
Швидкість без навантаження	(0,12 с)/(60°) при 4,8 В
Крутний момент	2 кг/см
Діапазон температур	від 0 °С до 50 °С
Робочий струм	під час руху: від 50 мА до 80 мА, у стані очікування: від 5 мА до 10 мА
Кут повороту	від 120° до 180° (в залежності від виробника)

Модуль керування рідинним потоком складається з блоку датчиків, які відстежують значення температури і рівня води, електромотора та з блоку індикації та сигналізації.

Блок датчиків включає в себе датчик температури та вологості DHT11 та ультразвуковий датчик HC-SR04.

Датчик температури та вологості DHT11 являється цифровим датчиком, що складається з ємнісного датчика вологості та термістора та АЦП, так як значення вологості і температури поступають аналоговим сигналом [14]. Хоча цей датчик відносно доступний за ціною, в нього досить висока точність вимірювання вологості і температури, що робить його популярним варіантом для великої кількості рішень. Зовнішній вигляд датчика DHT11 наведено на рисунку 2.4. Характеристики датчика DHT11 наведено у таблиці 2.4.



Рисунок 2.4 – Датчик вологості і температури DHT11

Таблиця 2.4 – Характеристики датчик вологості і температури DHT11

Назва характеристики	Значення, опис
Напруга живлення	від 3,5 В до 5,5 В
Робочий струм	від 0,5 мА до 2,5 мА
Точність вимірювання вологості	95% RH $\pm$ 5%
Точність вимірювання температури	від 0 °С до 50 °С $\pm$ 2%
Частота опитування	не більше 1 Гц

В розроблюваній системі ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 використовується як заміна датчику рівня води. Обумовлюється це більш стабільною роботою самого датчика та високою точністю вимірювання. Особливістю цієї моделі ультразвукового датчика є те, що він не має сліпих зон. Зовнішній вигляд датчика HC-SR04 наведено на рисунку 2.5. Характеристики датчика HC-SR04 наведено у таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04

Таблиця 2.5 – Характеристики ультразвукового датчика відстані HC-SR04

Назва характеристики	Значення, опис
Напруга живлення	від 3,8 В до 5,5 В
Робочий струм	8 мА
Частота	40 кГц
Діапазон вимірювання відстані	від 0 мм до 1500 мм
Роздільна здатність (точність)	3 мм
Ширина імпульсів	10 мкс
Кут спостереження	15°

Система індикація та сигналізації реалізована за допомогою двох червоних світлодіодів та активного п'єзодинаміка, що дозволяє наглядно виявляти критичні стани в модулі керування рідинним потоком.

Розроблювана система моніторингу відстежує показники станів виробничого процесу відмивки друкованих плат. Було обрано ультразвуковий спосіб відмивки друкованих плат, що реалізується шляхом наливання розчину для відмивки у ультразвукову ванну. Деякі розчини потрібно поєднати з водою для отримання концентрату необхідного відсотка. Саме для розмішування розчину з водою в розроблюваній системі використовується електродвигун. Зовнішній вигляд електромотору наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Електромотор

Основні характеристики електромотору наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики електромотору

Назва характеристики	Значення, опис
Робоча напруга	від 3 В до 6 В
Робочий струм	300 мА при 3 В
Діапазон температур	від -5°C до 40°C
Струм без навантаження	110 мА максимально
Швидкість обертання без навантаження	12800 об/хв
Діаметр валу	2 мм
Довжина валу	7,5 мм

Для підключення електромотора до плати ESP-WROOM-32 використовується драйвер двигунів L293D, який наведено на рисунку 2.7.

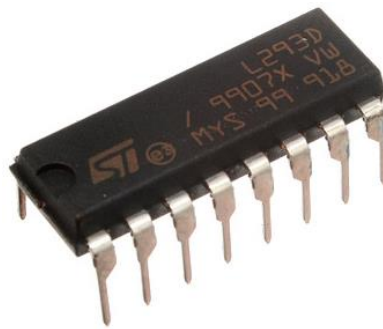


Рисунок 2.7 – Драйвер двигунів L293D

Мікросхема L293D – це драйвер двигунів, що складається з чотирьох Н-напівмостів в одному корпусі. Мікросхема дає змогу керувати двигунами постійного струму, кроковими двигунами та малопотужними безколекторними двигунами, зокрема вмикати/вимикати їх, змінювати напрямок обертання та швидкість [15]. Основні характеристики L293D наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристики драйверу двигунів L293D

Назва характеристики	Значення, опис
Робоча напруга	від 4,5 В до 7 В
Максимальний постійний струм	600 мА
Максимальний піковий струм	1,2 А
Діапазон робочих температур	від 0°C до 70°C
Кількість входів/виходів на корпусі	16-DIP
Інтерфейс	Паралельний

## 2.2 Схема підключення

Обрані технічні засоби для розробки систему моніторингу у повній мірі можуть реалізувати необхідний функціонал.

Схема підключення системи моніторингу наведена на рисунку 2.8.

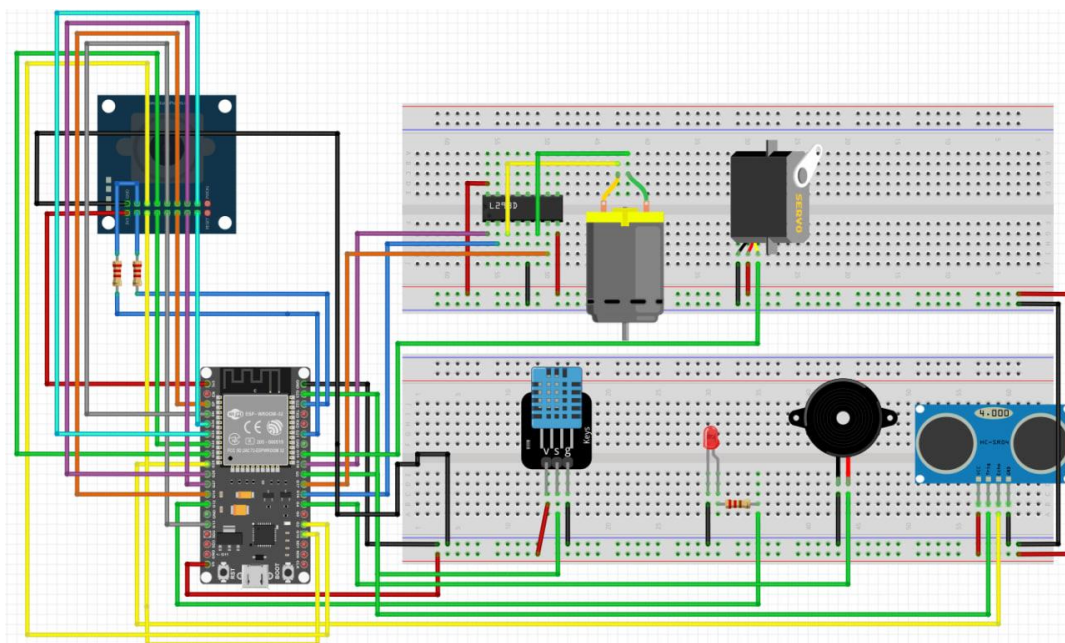


Рисунок 2.8 – Схема підключення

Наведена схема відображає апаратну частини системи моніторингу. У системі використовується модуль ESP-WROOM-32, який відповідає за збір даних з

датчиків, їх обчислення та аналіз, відправку до бази даних, а також реалізує взаємодію з графічним інтерфейсом (веб-сервером). До ESP-WROOM-32 під'єднані усі інші компоненти. Модуль OV7670 відповідає за камеру спостереження, яка дозволяє спостерігати за процесом безпосередньо з віддаленої точки доступу. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 збирає інформацію щодо рівня води у ванні. Датчику температури та вологості DHT11 збирає інформацію про температури рідини. У системі знаходяться два виконавчі пристрої – серводвигун SG90 та електромотор. Серводвигун симулює роботу вентиля зливу рідини, а електромотор відповідає за розмішування рідини. Підключення електромотора до плати ESP-WROOM-32 здійснюється завдяки драйверу двигунів L293D. У таблиці 2.8 наведений опис усіх пристроїв та електронних компонентів на схемі на рисунку 2.8, які використовуються в розроблюваній системі.

Таблиця 2.8 – Опис призначення пристроїв

Назва пристрою	Кількість, шт	Призначення/опис
ESP-WROOM-32	1	Плата керування системою
OV7670	1	Камера спостереження
DHT11	1	Датчик температури та вологості
HC-SR04	1	Ультразвуковий датчик відстані
SG90	1	Серводвигун
Світлодіод	1	Червоний світлодіод для індикації несправностей
Резистор 220 Ом	1	Понижуючий резистор для світлодіодів
Резистор 2,2 кОм	2	Резистори для з'єднання камери по I2C
L293D	1	Драйвер двигунів для підключення мотору
3V DC Motor	1	Електромотор
Buzzer	1	П'єзодинамік для сигналізації несправностей

Підключення світлодіоду до джерела живлення виконується через резистор, що обмежує струм.

Розрахунок напруги на понижуючому резисторі виконується за формулою (2.1):

$$U_{\text{рез}} = U_{\text{жив}} - U_{\text{св}}, \quad (2.1)$$

де  $U_{\text{рез}}$  – напруга на резисторі;

$U_{\text{жив}}$  – напруга живлення;

$U_{\text{св}}$  – напруга на світлодіоді.

У розроблюваній системі використовується червоний світлодіод, у якого падіння напруги складає 2 В. Розрахуємо напругу на резисторі для червоного світлодіоду за формулою (2.1):

$$U_{\text{рез}} = 5 - 2 = 3\text{В.}$$

Для розрахунку опору понижуючого резистору потрібно знати струм, який протікає через світлодіод. Номінальний струм більшості малопотужних світлодіодів знаходиться в межах від 10 мА до 25 мА. Для розрахунку опору використовується закон Ома за формулою (2.2):

$$R = \frac{U}{I}, \quad (2.2)$$

де  $R$  – опір, Ом;

$U$  – напруга, В;

$I$  – сила струму, А.

Для світлодіодів, які використовуються в системі номінальний струм складає 0,02 А. Тоді за формулою (2.2) розрахуємо опір на резисторі:

$$R = \frac{3}{0,02} = 150 \text{ Ом.}$$

З розрахунків виходить, що опір на понижуючому резисторі повинен бути 150 Ом.

### 2.3 Структурна схема

Структурна схема представляє відображення основних частин та взаємозв'язків між ними будь-якого роду системи, об'єкта та інших виробів.

Структурна схема розроблюваної системи буде включати як апаратну, так і програмну частини, яка наведена на рисунку 2.9.

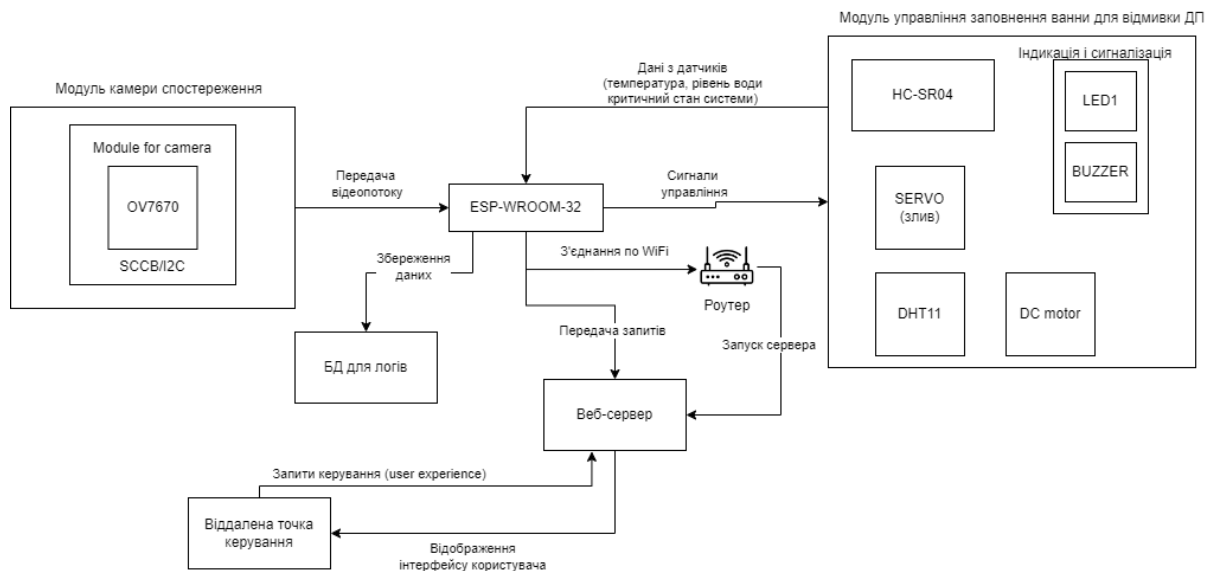


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи

Структурна схема відображає загальну структуру системи, яка визначається в наступному.

Основним модулем керування є ESP-WROOM-32, який отримує різні типи даних з модулів системи. З модулю камери спостереження, який складається з самої камери OV7670 та плати, до якої підключена камера, що дозволяє під'єднувати увесь модуль до модулю керування за допомогою SCCB інтерфейсу (аналог I2C), ESP-WROOM-32 отримує поточний кадр, який був захоплений, за певний проміжок часу, який визначає швидкість отримання відеопотоку. З модулю управління заповнення ванни для відмивки ДП, який складається з ультразвукового датчику HC-SR04, датчику температури та вологості DHT11, серводвигуна SG90, електромотора та модуля індикації і сигналізації (світлодіод та п'єзодинамік), ESP-WROOM-32 отримує поточні значення рівня води у ванні, температури рідини для відмивки та стану цих параметрів з модуля індикації та сигналізації.

ESP-WROOM-32 може формувати сигнали управління на серводвигун для емуляції відкриття або закриття вентиля зливу та на електромотор для запуску та зупинки розмішування рідини для відмивки ДП. Для збереження отримуваних даних з датчиків в системі передбачена база даних, яка розташовується та підтримується на комп'ютері за допомогою додаткового веб-сервера. Було обрано саме таке рішення з міркувань зменшення навантаження на основний модуль керування. ESP-WROOM-32 при самостійній підтримці ще й свого сервера для зв'язку з базою даних має велике навантаження, що може створювати помилки з'єднання, передачі даних.

Система має графічний інтерфейс користувача, який розміщений на веб-сервері, який запускається та підтримується на ESP-WROOM-32 за допомогою з'єднання з точкою доступу роутера через WiFi. На ESP-WROOM-32 створюються запити до веб-сервера, які на сервері оброблюються та відображають користувачеві необхідну інформацію або забезпечують необхідний функціонал.

Користувач може керувати системою з віддаленої точки доступу завдяки технології створення локального веб-серверу та підключення до нього через локальну IP-адресу. До віддаленої точки керування надходить уся інформація, яка розташовується на веб-сервері, забезпечуючи користувачький досвід (user

experience). Користувацький досвід (user experience, UX) – це те, як користувач взаємодіє з продуктом, системою чи послугою та отримує від них досвід. Він включає в себе сприйняття людиною корисності, простоти використання та ефективності [16].

## 2.4 Розрахунки

Розроблювана система в якості емуляції виробничого процесу використовує ультразвукову відмивку друкованих плат. Монтаж радіоелектронних компонентів на ДП супроводжується залишком флюсу, який перешкоджає забезпеченню високого опору ізоляції плати, що може призвести до виведення з ладу плати, викликати коротке замикання та інше. На сьогодні для очищення плати від залишків флюсу найчастіше використовують ультразвукову кавітацію в миючому розчині [17]. Для забезпечення технології ультразвукової відмивки ДП використовують ультразвукові ванни та спеціальні розчини або миючі рідини на водній основі.

В розроблюваній системі є модуль управління заповнення ванни для відмивки ДП, який симулює реальний виробничий процес. Ультразвукова ванна для відмивання друкованих плат є важливим компонентом у процесі виготовлення електронних пристроїв. Відповідне заповнення ванни миючою рідиною та точне знання тиску, що створюється рідиною на різних рівнях, є критичними для забезпечення ефективного та безпечного процесу очищення [18].

Для розрахунку гідростатичного тиску використовується формула (2.3):

$$P = \rho gh, \quad (2.3)$$

де  $P$  – гідростатичний тиск, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння (9,81 м/с<sup>2</sup>);

$h$  – висота стовпа рідини.

На рисунку 2.10 наведено представлення ультразвукової ванни.

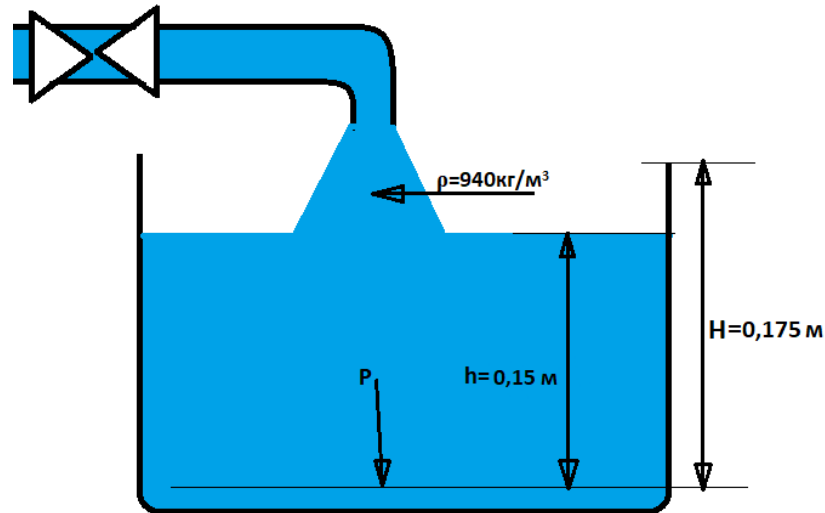


Рисунок 2.10 – Представлення ультразвукової ванни

На наведеному рисунку 2.10 видно вентиль, який забезпечує злив рідини у ванну та декілька характеристик ванни, а саме  $H$  – висота ванни 0,175 м,  $h$  – висота заповнення ванни рідиною 0,15 м, густина рідини, наприклад ZESTRON FA+, 940 кг/м<sup>3</sup>.

Під дією сили тяжіння гідростатичний тиск зростає зі збільшенням висоти стовпа рідини, тобто з висотою заповнення ємності.

Використовуючи формулу (2.3) розрахуємо тиск рідини на дні ванни:

$$P = 940 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 1383,21 \text{ Па.}$$

Таким чином, тиск миючої рідини на дні ванни становить приблизно 1383,2 Па.

Для вибору необхідної ультразвукової ванни необхідно також розрахувати масу, яку буде займати миюча рідина у ванні. Максимальний об'єм, який буде

займати друкована плата, становить 0,15 м х 0,08 м, виходячи з того, що розроблювана система використовується для відмивки плат невеликої електроніки.

Маса рідини розраховується за формулою (2.4).

$$m = V \cdot \rho, \quad (2.4)$$

де  $m$  – маса, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/см<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>.

Виходячи з формули (2.4) розрахуємо масу миючої рідини в ванні.

$$V = 0,15 \cdot 0,085 \cdot 0,065 = 0,0015 \text{ м}^3,$$

$$m = 0,0015 \cdot 940 = 1,451 \text{ кг.}$$

Таким чином отримуємо масу, яку займатиме миюча рідина у ванні, 1,451 кг.

Виходячи з цих розрахунків було обрано ультразвукову ванну Jeken PS-06A, зовнішній вигляд якої наведено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Ультразвукова ванна Jeken PS-06A [19]

Основні характеристики ультразвукової ванни Jeken PS-06A наведені у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристики ультразвукової ванни Jeken PS-06A

Назва характеристики	Значення, опис
Об'єм	600 мл
Потужність ультразвуку	50 Вт
Частота ультразвуку	40000 Гц
Матеріал резервуара	Нержавіюча сталь
Габарити резервуара (внутр.)	150 мм x 85 мм x 65 мм
Габарити пристрою	175 мм x 110 мм x 155 мм
Вага	1,35 кг

Згідно таблиці 2.5 (див. п. 2.1) діапазон вимірювань ультразвукового датчику відстані HC-SR04 становить від 0 мм до 1500 мм з роздільною здатністю 3 мм. Принцип роботи датчика полягає в випусканні ультразвукового імпульсу та отриманні на приймачі відбитого імпульсу. Час, за який імпульс пройшов з початку випуску та отриманням на ехо-сигналу на приймач, дає змогу розрахувати відстань до об'єкта.

Припустимо, що час проходження імпульсу ( $t$ ) склав 40 мс. Для розрахунку відстані до об'єкта використовується формула (2.5). Оскільки час, який вимірює датчик, включає шлях імпульсу від передавача до об'єкта і назад до приймача, які дорівнюють один одному, тоді потрібно отриманий час поділити навпіл.

$$S = \frac{c_s \cdot t}{2}, \quad (2.5)$$

де  $c_s$  – швидкість звуку у середовищі (у повітрі – 343 м/с).

Розрахуємо відстань за формулою (2.5).

$$S = \frac{343 \cdot 0,04}{2} = 6,86 \text{ м.}$$

З результатів розрахунку відстань до об'єкта складає 6,86 м.

## 2.5 Визначення оптимальних налаштувань ПІД-регулятора

Системи автоматичного керування (САК) широко використовуються для підтримки спостережуваних параметрів у різних процесах. Для процесу відмивки друкованих плат одним з таких параметрів є температура. Розглянемо систему автоматичного керування температурою за допомогою датчика температури та вологості DHT11 та ПІД-регулятора.

Виходячи з обраної миючої рідини для відмивки ДП встановлюється задане значення температури, яке потрібно підтримувати. Для миючої рідини ZESTRON FA+ температура для відмивки ДП становить 50 °С. Отже, задане значення температури ( $r(t)$ ) становить 50 °С, фактичне значення температури ( $y(t)$ ), виміряне датчиком температури та вологості DHT11, становить 40 °С.

Помилка регулювання – це різниця між заданим значенням регульованої величини та фактичним її значенням, що визначається за формулою (2.6).

$$\varepsilon(t) = r(t) - y(t). \quad (2.6)$$

Розрахуємо помилку регулювання за формулою (2.6).

$$\varepsilon(t) = 50 - 40 = 10^\circ\text{C}.$$

Для управління температурою використовується ПІД-регулятор, який включає в себе три регулятори, а саме пропорційний, інтегральний та диференціальний. Для пропорційного регулятора встановлено коефіцієнт  $K(p) = 1,5$ , для інтегрального регулятора –  $K(i) = 0,1$ , для диференціального регулятора –  $K(d) = 0,25$ .

Пропорційний компонент (P) розраховується як добуток пропорційного коефіцієнта на помилку регулювання за формулою (2.7).

$$P = K(p) \cdot \varepsilon(t). \quad (2.7)$$

Розрахуємо пропорційний компонент за формулою (2.7).

$$P = 1,5 \cdot 10 = 15^\circ\text{C}.$$

Інтегральний компонент (I) розраховується як добуток інтегрального коефіцієнта на інтеграл помилки за певний період часу за формулою (2.8).

$$I = K(i) \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau. \quad (2.8)$$

Припустимо, що інтеграл помилка за час дорівнює  $20^\circ\text{C} \cdot \text{год}$ , тоді розрахуємо інтегральний компонент за формулою (2.8).

$$I = 0,1 \cdot 20 = 2^\circ\text{C}.$$

Диференціальний компонент (D) розраховується як добуток диференціального коефіцієнта на швидкість зміни помилки за формулою (2.9).

$$D = K(d) \cdot \frac{d}{dt} \varepsilon(t). \quad (2.9)$$

Припустимо, що швидкість зміни помилки дорівнює  $-0,5^\circ\text{C}/\text{год}$ , тоді розрахуємо диференціальний компонент за формулою (2.9).

$$D = 0,25 \cdot (-0,5) = -0,125^\circ\text{C}.$$

Загальний контрольний сигнал є сумою всіх трьох компонентів, що розраховується за формулою (2.10).

$$u(t) = P + I + D. \quad (2.10)$$

Розрахуємо загальний контрольний сигнал за формулою (2.10).

$$u(t) = 15 + 2 - 0,125 = 16,875^\circ\text{C}.$$

Розрахований сигнал може бути використаний для керування процесом підігріву миючої рідини у системі моніторингу приладобудівного приміщення, щоб досягнути бажаної температури відмивки ДП.

## 2.6 Дослідження стійкості САУ за алгебраїчними критеріями

Для визначення стійкості САУ використовують алгебраїчні критерії стійкості. Для розрахунку критеріїв стійкості потрібно провести математичний опис системи, а саме скласти характеристичне рівняння [20]. Припустимо, що система другого порядку. Тоді характеристичне рівняння буде виглядати наступним чином:

$$y''(t) + 3y'(t) + 2y(t) = u(t),$$

де  $y(t)$  – вихідний сигнал;

$y'(t)$  – перша похідна;

$y''(t)$  – друга похідна;

$u(t)$  – вхідний сигнал.

Застосуємо перетворення Лапласа:

$$s^2Y(s) + 3sY(s) + 2Y(s) = U(s),$$

$$(s^2 + 3s + 2)Y(s) = U(s).$$

Передавальна функція  $G(s)$  визначається як відношення вихідного сигналу до вхідного:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 2}.$$

Тоді, характеристичне рівняння отримуємо зі знаменника  $s^2 + 3s + 2 = 0$ .

Використаємо критерій стійкості Гурвіца для визначення стійкості системи.

Для системи другого порядку умови критерія Гурвіца визначаються за формулою (2.11):

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0, \Delta_1 = a_1 > 0, a_0 > 0. \quad (2.11)$$

Визначимо умови стійкості по Гурвіцу:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 0 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 6 - 0 = 6 > 0, \Delta_1 = 3 > 0, 1 > 0.$$

З отриманих результатів розрахунку критеріїв стійкості можна сказати що система стійка.

### 3 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ВІДМИВКИ ДП

#### 3.1 Блок-схема алгоритму роботи системи моніторингу

Для розробки системи моніторингу важливо розуміти алгоритм, який вона виконує. Алгоритм – це скінчена послідовність чітко визначених інструкції, які використовуються для вирішення поставленого завдання. На рисунку 3.1 наведений алгоритм роботи системи моніторингу.

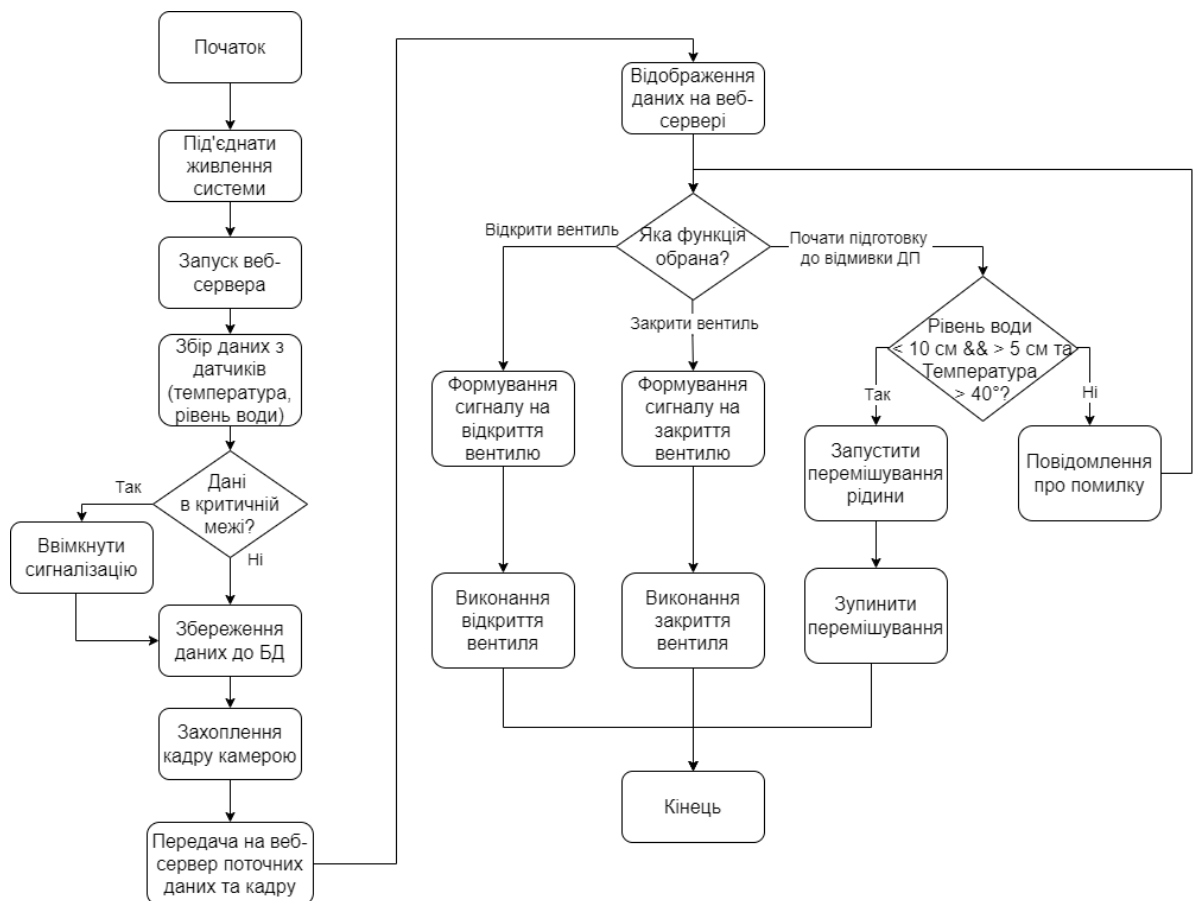


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи системи

Завданням для розроблюваної системи моніторингу є збір даних з датчиків, визначення критичного стану спостережуваних параметрів, відображення зібраних даних та відеопотоку з камери спостереження на віддалену точку керування.

При підключенні живлення до системи запускається локальний веб-сервер, який транслюється на віддалену точку доступу, що забезпечує віддалене керування системою. Відбувається збір даних з датчиків, які при необхідності оброблюються (дані з ультразвукового датчика оброблюються для отримання необхідної величини), камера захоплює кадри та це все відправляється на веб-сервер для відображення отриманих даних та відеопотоку. Далі користувач має змогу обрати бажану функцію на виконання. При виборі функції «Відкрити вентиль» система формує сигнал на виконавчий пристрій (серводвигун) для відкриття вентиля. При виборі функції «Закрити вентиль» система формує сигнал на виконавчий пристрій (серводвигун) для закриття вентиля. При виборі функції «Підготовка до відмивки ДП» відбувається перевірка на відповідність параметрів, а саме значення температури повинно бути більше  $40^{\circ}$  та рівень води повинен бути менше 10 см та більше 5 см. Якщо умова істинна, то формується сигнал на запуск процесу розмішування рідини. Якщо умова хибна, то система повідомляє про виникнення помилки та повертається до вибору функції.

### 3.2 Збирання фізичного макету системи моніторингу

На рисунку 3.2 наведений зібраний фізичний макет апаратної частини системи.

Збірка макету відбувалась з використанням обраних технічних засобів з підрозділу 2.1 та опираючись на розроблену схему підключення, що наведена на рисунку 2.8 (див. п. 2.2).

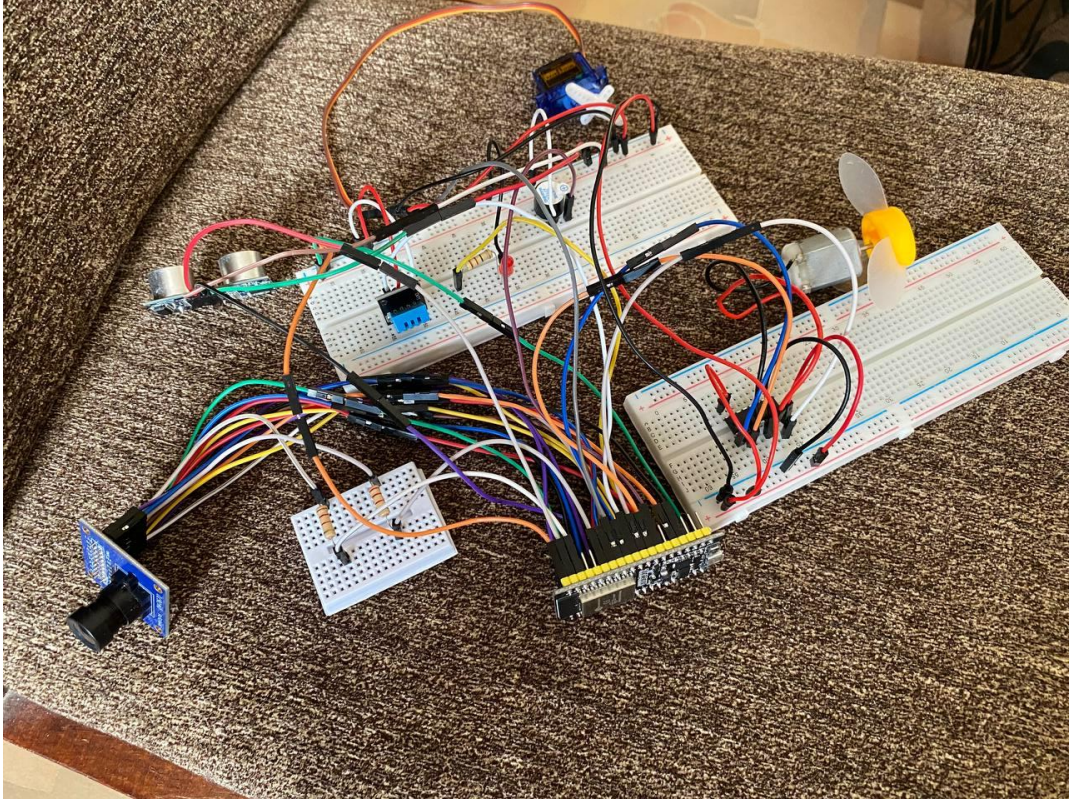


Рисунок 3.2 – Фізичний макет системи

В таблиці 3.1 наведено піни підключення елементів до основного модуля системи ESP-WROOM-32.

Таблиця 3.1 – Піни підключення елементів до ESP-WROOM-32

ESP32	OV7670	HC-SR04	DHT11	LED	BUZZER	L293D (Motor)	SG90
5V	–	VIN	VIN	–	–	VIN1, VIN2	VIN
GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
SP(G36)	D5	–	–	–	–	–	–
SN(G39)	D6	–	–	–	–	–	–
G34	D1	–	–	–	–	–	–
G35	D0	–	–	–	–	–	–
G32	PCLK	–	–	–	–	–	–

Продовження таблиці 4.1

ESP32	OV7670	HC-SR04	DHT11	LED	BUZZER	L293D (Motor)	SG90
G33	XCLK	–	–	–	–	–	–
G25	–	ECHO	–	–	–	–	–
G26	D2	–	–	–	–	–	–
G27	D3	–	–	–	–	–	–
G14	D4	–	–	–	–	–	–
G12	–	–	–	OUT	–	–	–
G13	D7	–	–	–	–	–	–
3V3	3V3	–	–	–	–	–	–
G23	–	TRIG	–	–	–	–	–
G22	SIOC	–	–	–	–	–	–
G21	SIOD	–	–	–	–	–	–
G19	–	–	–	–	–	–	PWM
G18	–	–	–	–	–	EN 1, 2	–
G5	–	–	SIGNAL	–	–	–	–
G17	–	–	–	–	–	IN2	–
G16	–	–	–	–	–	IN1	–
G4	–	–	–	–	OUT	–	–
G2	HREF	–	–	–	–	–	–
G15	VSYNC	–	–	–	–	–	–

### 3.3 Розробка програмного забезпечення для системи моніторингу

#### 3.3.1 Вибір засобів автоматизації розробки ПЗ

Розробка програмного забезпечення супроводжується вибором відповідних програмних засобів, які дозволяють зручно та ефективно створювати ПЗ.

Для створення головного ПЗ для керування усією системою було обрано Arduino IDE. Arduino IDE – це інтегроване середовище розробки, що являється кросплатформним додатком, який дозволяє створювати та завантажувати програми на Arduino-сумісні плати та плати інших виробників [21]. Серед розробки включає в себе редактор коду, функції компіляції проєктів та завантаження програм на плату. Платформа підтримує мови програмування C/C++. Arduino IDE також містить область повідомлень (монітор порту) для відслідковування повідомлень, текстову консоль, панель інструментів з кнопками для загальних функцій та ієрархію операційних меню. В новітніх версіях було додано функцію автозаповнення, зручнішу навігацію по коду та функцію налагодження (debugger).

Для зберігання та управління даними використовується реляційна база даних MySQL. Для забезпечення зручності адміністрування бази даних та взаємодії з нею використовуються такі технології як Apache, phpMyAdmin та PHP.

MySQL є однією з найпопулярніших реляційна систем управління базами даних (СУБД). Вона надає високоефективний механізм для зберігання, управління та доступу до даних. MySQL підтримує стандартні SQL-запити, транзакції, індекси та інші важливі функції для забезпечення цілісності та ефективності роботи з базою даних.

Apache HTTP Server є одним з найпоширеніших веб-серверів. Він використовується для обробки HTTP-запитів і надання веб-сторінок користувачам. В розроблюваній системі Apache використовується як локальний веб-сервер, на якому розміщено PHP-скрипти, що взаємодіють з базою даних MySQL.

phpMyAdmin є веб-інтерфейсом для адміністрування баз даних MySQL. Він дозволяє здійснювати різноманітні операції з базою даних через зручний графічний інтерфейс, такі як створення та редагування таблиць, виконання SQL-запитів, імпорт та експорт даних. Використання phpMyAdmin значно спрощує процес управління базою даних.

PHP – це популярна мова програмування для веб-розробки, яка інтегрується з HTML і дозволяє створювати динамічні веб-сторінки. В розроблюваній системі PHP використовується для написання серверних скриптів, які отримують дані з датчиків, виконують запити на зберігання даних до бази даних MySQL.

### 3.3.2 Розробка структури БД

Розробка структури бази даних складається з визначення потреб, для яких необхідне введення бази даних. В розроблюваній системі потрібно мати зберігати інформацію про минулі значення та стани відстежуваних параметрів для отримання повного погляду на роботу системи на проміжку часу. Завдяки зберіганню даних у базу даних в подальшому можна відслідковувати помилки зчитування датчиків для налагодження та удосконалення системи.

Основні параметри які повинні бути збереженні у базу даних це температура, рівень води, стан датчика DHT11, стан датчика HC-SR04 та час запису даних до БД.

У розроблюваній системі виділяються параметри яких підлягають збереженню в БД:

- унікальний ідентифікатор;
- значення температури;
- значення рівня води;
- стан датчика температури та вологості DHT11;
- стан ультразвукового датчика відстані HC-SR04;
- час запису даних до БД.

Виходячи з описаних потреб та параметрів для зберігання можна описати таблицю сутностей, які будуть знаходитися в базі даних (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Таблиця для зберігання даних з датчиків

Назва поля	Тип даних	Додатковий опис
id	int	auto_increment
temperature	int	no_null

## Продовження таблиці 3.2

Назва поля	Тип даних	Додатковий опис
distance	int	no_null
dht_state	tinyint	no_null
ultrasonic_state	tinyint	no_null
log_time	datetime	current_timestamp()

Керування та адміністрування базою даних відбувається за допомогою phpMyAdmin, тому створення бази даних та таблиці відбувалось через інтерфейс даного середовища. На рисунку 3.3 наведений загальний вигляд бази даних.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1 id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	2 temperature	int(11)			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	3 distance	int(11)			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	4 dht_state	tinyint(1)			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	5 ultrasonic_state	tinyint(1)			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	6 log_time	datetime			No	current_timestamp()			Change  Drop  More

	id	temperature	distance	dht_state	ultrasonic_state	log_time
<input type="checkbox"/>	1	19	6	0	0	2024-05-05 13:56:03
<input type="checkbox"/>	419	24	3	0	1	2024-05-05 16:46:15
<input type="checkbox"/>	420	24	7	0	0	2024-05-05 16:46:20

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд бази даних у phpMyAdmin

Як було зазначено, база даних створена для збереження даних з датчиків та відслідковування помилок зчитування датчиків для налагодження та удосконалення системи.

Для обробки даних з БД було розроблено Python скрипт, який підключається до створеної бази даних, витягує дані, оброблює їх та виводить їх у вигляді графіку.

На рисунку 3.4 наведено вікно програми, яка виводить дані з БД у вигляді графіку.



Рисунок 3.4 – Програма для виводу графіку даних з БД на Python

Цей додаток представляє програму на мові Python з використанням бібліотек PyQt5 та matplotlib для створення графічного інтерфейсу користувача (GUI), який дозволяє візуалізувати дані з бази даних.

Інтерфейс програми має меню інструментів, які дозволяють маніпулювати графіком (приближення, навігація по графіку, налаштування параметрів графіку, збереження у вигляді картинки). Наступним елементом є сам графік. Нижче знаходяться два поля вводу дати та часу, які відповідають за проміжок часу, з якого необхідно вивести дані з БД у вигляді графіку. Кнопка «Update graph» відповідає за оновлення графіку, а саме відбувається зчитування даних з полів дати та часу, наступним відбувається підключення до БД та створення SQL-запиту до бази даних для витягування саме тих даних, які попадають під вказаний проміжок часу. Програмний код формування графіку наведено на рисунку 3.5.

```

def create_plot(self):
    mydb = mysql.connector.connect(
        host="localhost",
        user="root",
        password="cambridge",
        database='sensors_db'
    )
    cursor = mydb.cursor()
    query = ("SELECT temperature, distance, dht_state, ultrasonic_state, log_time FROM sensors_log "
            "WHERE log_time BETWEEN %s AND %s")
    log_start = datetime.datetime( year=2024, month=5, day=5, hour=13, minute=00, second=12)
    log_end = datetime.datetime( year=2024, month=5, day=5, hour=17, minute=0, second=0)
    cursor.execute(query, params=(log_start, log_end))
    rows = cursor.fetchall()

    y1 = [row[0] for row in rows]
    y2 = [row[1] for row in rows]
    x = [row[4].strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S") for row in rows]

    self.ax.plot(x, y1, label="Temperature")
    self.ax.plot(x, y2, label="Distance")

    self.ax.set_title('Graph')
    self.ax.set_xlabel('Time')
    self.ax.set_ylabel('Value')
    self.ax.legend()

    self.canvas.draw()

    cursor.close()
    mydb.close()
except mysql.connector.Error as err:
    if err.errno == errorcode.ER_ACCESS_DENIED_ERROR:
        print("Something is wrong with your user name or password")
    elif err.errno == errorcode.ER_BAD_DB_ERROR:
        print("Database does not exist")
    else:
        print(err)

```

Рисунок 3.5 – Програмний код формування графіку з даних з БД

### 3.3.3 Розробка програми для керування системою моніторингу

Розроблювана система включає різні компоненти, такі як датчики температури та рівня води, серводвигуни, камеру, а також можливість підключення до Wi-Fi та керування веб-сервером.

В Arduino IDE є багато вбудованих модулів та функцій, які дозволяють створювати програми, однак для розроблюваної системи потрібно підключити деякі бібліотеки за допомогою пакетного менеджера середовища розробки, які допоможуть ефективно створювати програмний код без створення надбудов, а саме бібліотеки для роботи з Wi-Fi (WiFi.h), асинхронним веб-сервером (ESPAsyncWebServer.h), сервомоторами (ESP32Servo.h), HTTP-запитами (HTTPClient.h), датчиком температури та вологості DHT11 (DHT.h), камерою OV7670 (OV7670.h), та для управління подіями за допомогою Ticker.

Асинхронний веб-сервер на базі бібліотеки ESPAsyncWebServer для ESP32 дозволяє обробляти HTTP-запити асинхронно, що забезпечує більшу ефективність і швидкість обробки запитів у порівнянні зі звичайними синхронними серверами.

Основний принцип асинхронного веб-сервера полягає у асинхронності. Асинхронний сервер дозволяє обробляти кілька запитів одночасно, не блокуючи виконання програми під час очікування відповідей. Це досягається шляхом використання асинхронних методів обробки запитів, які не затримують основний потік виконання програми.. Асинхронний сервер базується на подіях. Коли сервер отримує запит, відповідна callback-функція викликається для обробки запиту. Ці функції виконуються асинхронно, що означає, що вони не блокують основний потік виконання програми. Після обробки запиту сервер відправляє відповідь клієнту [22]. Цей підхід дозволяє легко визначати різні обробники для різних маршрутів (URL). Також завдяки асинхронності, сервер ефективніше використовує ресурси, що особливо важливо для обмежених апаратних платформ, таких як ESP32.

Перевагами асинхронного веб-сервера можна виділити наступне:

- обробка кількох запитів одночасно, не очікуючи завершення обробки кожного запиту;
- зменшення затримки та підвищення ефективності використання ресурсів;
- легко обробка великої кількості одночасних з'єднань без суттєвого зниження продуктивності.

Принцип роботи асинхронного веб-сервера в розроблюваній системі полягає в наступному. ESP32 підключається до Wi-Fi мережі, використовуючи вказані SSID та пароль. Це забезпечує можливість доступу до веб-сервера з інших пристроїв у тій самій мережі. Об'єкт AsyncWebServer створюється на порту 80. Це означає, що сервер буде слухати HTTP-запити на стандартному порту 80. Сервер обробляє кілька маршрутів для взаємодії з користувачем через веб-інтерфейс (див. лістинг А.1 дод. А):

- відправляє HTML-сторінку з інтерфейсом користувача («/»);

- повертає дані датчиків у форматі JSON («/sensor\_data»);
- повертає зображення з камери у форматі BMP («/camera»);
- відкриває вентиль («/open\_valve»);
- закриває вентиль («/close\_valve»);
- запускає процес підготовки до відмивання ДП («/start\_washing»).

Наступним є визначення глобальних змінних, які відповідають за підключення до різних датчиків та виконавчих пристроїв, а саме піни для підключення камери OV7670, електромотору, п'єзодинаміка, світлодіода, датчика температури та вологості DHT11, ультразвукового датчика відстані HC-SR04, серводвигуна SG90. Також під цю категорію підпадають ті змінні, які є провідними по всьому проекту, такі як частота обертання мотору, пароль та назва точки доступу WiFi, змінні для запису поточної температури та рівня води, адреса підключення до бази даних, логічні константи для визначення стану як роботи процесу підготовки ванни до відмивки ДП, так і спостережуваних параметрів. Також у глобальній області видимості визначаються об'єкти класів та структур з доданих бібліотек, які полегшують процес розробки ПЗ, а саме об'єкт асинхронного веб-сервера, який працює на стандартному порту 80, об'єкт серводвигуна, який відповідає за вентиль, об'єкти таймерів з бібліотеки Ticker, що дозволяє виконувати регулярні завдання та викликати функції асинхронно без використання функції delay(), об'єкт камери для захвату кадру на камері та заголовку файлу типу BMP для того, щоб клієнт міг правильно інтерпретувати отримані дані як зображення у форматі BMP.

Основні функції, які представлені в програмному забезпеченні:

- setup() – ініціалізація усіх компонентів;
- loop() – циклічне виконання програми (порожня, оскільки асинхронний веб-сервер обробляє запити незалежно та не послідовно);
- saveToDB() – відправка даних до бази даних через HTTP-запит;
- SendHTML() – створення HTML-сторінки для веб-інтерфейсу;

- tempSensor() – читання температури з датчика DHT11 та запис до відповідної змінної;
- soundSensor() – читання відстані з датчика HC-SR04 та запис до відповідної змінної;
- openValve(), closeValve() – функції управління серводвигуном (відкриття та закриття вентиля);
- stepperRotate(), stepperStop() – функції управління електромотором (запуск та зупинка мотору);
- handleRoot() – запит на відправку HTML-сторінки на сервер (корінний шлях);
- handleSensorData() – запит на оновлення даних з датчиків HTML-сторінки на сервері;
- handleCameraStream() – запит на оновлення кадрів з камери (формування відеопотоку) HTML-сторінки на сервері;
- handleOpenValve(), handleCloseValve() – запити для відкриття та закриття вентиля відповідно.
- handleStartWashing() – запит для початку процесу підготовки ванни для відмивання ДП.

Функція SendHTML() генерує HTML-код для веб-сторінки, яка відображає інформацію про систему моніторингу, включаючи дані сенсорів, управління вентиляем, запуск процесу підготовки ванни до відмивки ДП та потокове відео з камери. Дана функція включає в себе як HTML-розмітку та визначення стилів CSS, так і код на мові JavaScript для обробки запитів, які надсилаються на веб-сервер (див. лістинг А.2 дод. А):

- функція fetchData() надсилає запит до сервера на «/sensor\_data» і оновлює відповідні елементи HTML із отриманими даними (з'єднана з функцією handleSensorData());

- функція `updateVideo()` оновлює зображення з камери, додаючи випадковий параметр до URL, щоб уникнути кешування (з'єднана з функцією `handleCameraStream()`);
- функції `openValve()` `closeValve()` відповідають за керування вентилем (відкриття та закриття);
- функція `startWashing()` відповідає за запуск процесу підготовки ванни для відмивки ДП (з'єднана з функцією `handleStartWashing()`);
- функція `updateLiquidInfo()` оновлює інформацію про вибрану рідину на основі вибору з випадającego списку;
- встановлення інтервалів для періодичного виклику функцій `fetchData()` та `updateVideo()`.

Функція `handleRoot()` відповідає за обробку запитів до кореневого маршруту веб-сервера. Коли користувач заходить на головну сторінку (кореневий маршрут), ця функція формує і надсилає HTML-документ, який є інтерфейсом для моніторингової системи (див. лістинг А.3 дод. А).

Функція `handleSensorData()` відповідає за обробку запитів до маршруту `/sensor_data`. Вона збирає дані з сенсорів, форматує їх у формат JSON та відправляє їх клієнту. Крім того, ця функція викликає функцію `saveToDB()`, яка зберігає ці дані в базу даних. Виклики функцій `tempSensor()` та `soundSensor()` оновлюють глобальні змінні, які зберігають дані з сенсорів. Далі відбувається формування рядка у форматі JSON, який містить останні зчитані значення сенсорів (поточна температура, стан температури, рівень води, стан рівня води, стан клапану). Наступним є надсилання HTTP-відповіді клієнту (див. лістинг А.4 дод. А). Останнім викликається функція `saveToDB()`, яка зберігає дані сенсорів у базу даних.

Функція `saveToDB()` відповідає за відправку даних сенсорів на веб-сервер для збереження в базі даних. Вона використовує бібліотеку `HttpClient` для здійснення HTTP POST-запиту до сервера. Змінна `response` містить дані, які будуть відправлені на сервер. Це рядок формату URL-кодування, який містить значення температури,

відстані (рівня води) та стану сенсорів. Створюється об'єкт `HttpClient` для виконання HTTP-запиту. Викликається метод `begin(URL)`, який ініціалізує об'єкт `http` з URL-адресою сервера. URL-адреса зберігається в змінній `URL`. Метод `POST(response)` здійснює HTTP POST-запит з даними `response`. Повертає код відповіді сервера, який зберігається в змінній `httpResponseCode`. Якщо запит був успішним, сервер поверне код відповіді 200 або інший код успіху. Якщо сталася помилка, код відповіді буде від'ємним або відмінним від кодів успіху. Метод `end()` завершує роботу з об'єктом `HttpClient`, вивільняючи ресурси, які використовувалися для виконання запиту (див. лістинг А.5 дод. А).

Функція `handleCameraStream()` обробляє запит на отримання потоку відео з камери у форматі BMP. Вона використовується для захоплення кадрів з камери та відправки їх на веб-сторінку клієнта. Викликається метод `oneFrame()` об'єкта `camera` для захоплення одного кадру з камери. Цей метод заповнює буфер кадру даними з камери. Використовується метод `beginChunkedResponse()` для створення відповіді на запит. Цей метод дозволяє відправляти дані частинами (`chunked response`). У цьому випадку, дані відправляються у форматі BMP. Змінна `headerSize` визначає розмір заголовка BMP. Змінна `dataIndex` використовується для відстеження позиції в буфері даних кадру. Якщо індекс `index` менший за розмір заголовка, копіюється частина заголовка BMP у буфер і повертається кількість байтів, яка була скопійована. Обчислюється кількість залишкових даних кадру. Якщо є залишкові дані, копіюється частина цих даних у буфер і оновлюється `dataIndex`. Якщо всі дані були відправлені, `dataIndex` скидається до 0 для підготовки до відправки наступного кадру. Повертається 0, щоб сигналізувати про закінчення даних для поточного кадру. Після налаштування потоку відповіді, він відправляється клієнту (див. лістинг А.6 дод. А).

Функції `handleOpenValve()` та `handleCloseValve()` обробляють HTTP POST-запити для відкриття та закриття вентилів в системі (див. лістинг А.7 дод. А).

Функція `handleOpenValve()` спочатку перевіряє, чи рівень води у ванні нижче 5 см. Якщо ні, то вона надсилає відповідь клієнту з повідомленням про

неможливість відкрити вентиль через високий рівень води. Якщо рівень води дозволяє, вона відправляє команду на відкриття вентиля, що призводить до запису значення 180 на вентиль, що відповідає відкритому стану. Після цього вона встановлює змінну `valveState` в 1 (означає, що вентиль відкритий). Наприкінці вона надсилає відповідь клієнту з підтвердженням відкриття вентиля.

Функція `handleCloseValve()` просто відправляє команду на закриття вентиля, встановлюючи значення 0 на вентиль. Після цього вона встановлює змінну `valveState` в 0 (означає, що вентиль закритий). Наприкінці вона надсилає відповідь клієнту з підтвердженням закриття вентиля.

Функція `handleStartWashing()` обробляє HTTP POST-запит для запуску процесу підготовки ванни для відмивки. Спочатку функція перевіряє, чи виконуються умови для початку процесу підготовки ванни для відмивки. Якщо умови не виконуються, вона надсилає відповідь клієнту з відповідним повідомленням про неможливість почати процес. Якщо процес вже запущено (`washingInProgress == true`), вона також надсилає відповідь клієнту з повідомленням про поточний стан процесу. Якщо всі умови виконуються, функція встановлює флаг `washingInProgress` у значення `true`, щоб позначити початок процесу. Далі функція фіксує час початку процесу у змінній `startTime` для подальшого використання. Запускається рух мотора (або іншої дії) для підготовки ванни (наприклад, розкручується мотор, який мішає рідину у ванні). За допомогою об'єкта `stepperTicker` встановлюється таймер, який викликає функцію `stepperStop()` через 10 мілісекунд. Це потрібно для автоматичного зупинення мотора після короткого проміжку часу. Нарешті, функція надсилає відповідь клієнту з повідомленням про успішний запуск процесу підготовки ванни для відмивки (див. лістинг А.8 дод. А).

На рисунку 3.6 наведено веб-інтерфейс системи моніторингу. Графічний інтерфейс користувача складається з декількох блоків.

Першим блоком виступає заголовний текст, який відображає назву системи та спосіб з'єднання.

Наступним блоком є блок виводу інформації з датчиків, а саме значення температури, рівня води та стани датчиків і вентиля.

Нижче знаходиться випадаючий список з миючими рідинами. При виборі відповідної рідини виводиться уся інформація про неї, яка дозволяє одразу переглянути необхідну інформацію без додаткових пошуків.

Наступним блоком є блок кнопок керування. В ньому розміщені три кнопки «Відкрити вентиль», «Закрити вентиль» та «Підготовка процесу відмивки ДП». Кожна кнопка відповідає своєму запиту, які були сформовані та описані у попередньому пункті.

Останнім блоком виступає відеопотік з камери спостереження. В цьому блоці знаходиться елемент, який отримує кадр з камери в якості картинки типу BMP і оновлює її кожні пів секунди. Значення швидкості оновлення може бути встановлений виходячи з потреби частоти оновлення кадрів.

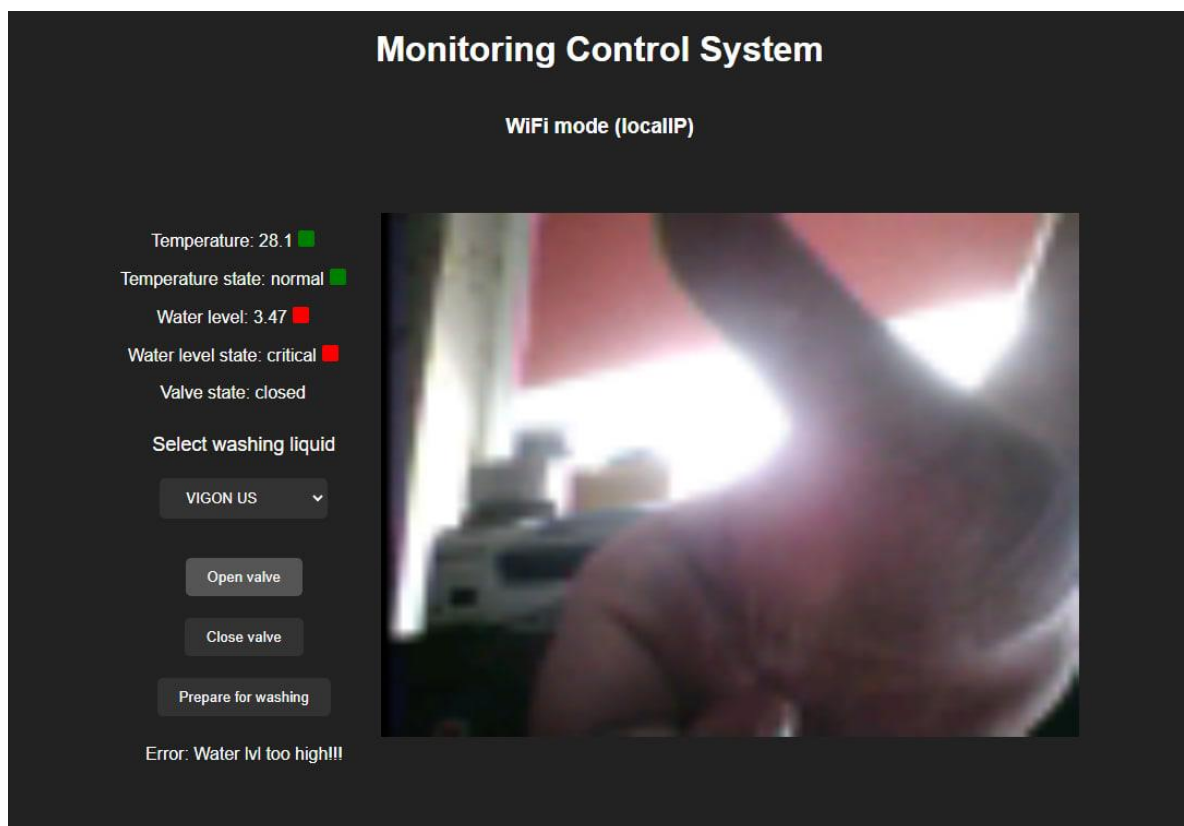


Рисунок 3.6 – Інтерфейс користувача

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Виробничий процес повинен бути безпечним для операторів та працівників. В умовах сучасного високотехнологічного виробництва, в якому застосовуються автоматизовані системи контролю, управління, набувають чинності питання забезпечення надійної роботи в безпечних умовах праці для запобігання виникненню виробничих травм, професійних захворювань та аварійних ситуацій. Такі якості не тільки зменшать ризики для працівників виробництва, а й зможуть надати безперебійне функціонування виробництва та виробничих процесів.

### 4.1 Робота з електрообладнанням

Робота з електрообладнанням потребує дотримання правил безпеки при роботі з напругою. Можна виділити наступні основні заходи охорони праці при роботі з електрообладнанням та напругою [23]:

- забезпечення ізоляції та заземлення для зменшення ризику ураження електричним струмом;
- перевірка стану електрообладнання перед початком роботи;
- забезпечення спеціалізованої та призначеної для цього системи керування, що повинно забезпечувати запуск та зупинку виробничого обладнання;
- використання захисних та технологічних засобів, таких як гумові рукавички та взуття, ізольовані прибори для вимірювання електричних параметрів, тощо, особливі при роботі з високою напругою;
- регулярне проведення інструктажів з безпеки для працівників;
- можливість аварійної зупинки для швидкого відключення живлення для виробничого обладнання у разі виникнення аварійної ситуації.

Під час роботи з електрообладнанням важливо контролювати рівень напруги в мережі. Для розроблюваної системи для безпечної роботи основного керуючого

модуля ESP-WROOM-32 робоча напруга живлення становить 5 В, а максимальний струм становить 500 мА. Для розрахунку потужності використовується формула (4.1).

$$P = V \cdot I, \quad (4.1)$$

де  $P$  – потужність, яку споживає система, Вт;

$V$  – постійна напруга живлення, В;

$I$  – максимальний струм, А.

Розрахуємо потужність розроблюваної системи моніторингу за формулою (4.1).

$$P = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ Вт.}$$

Отримане значення потужності 2,5 Вт свідчить про ефективність та низькі операційні витрати розроблюваної системи. Через це стає можливість використання недорогих та простих блоків живлення і охолоджуючих систем через незначне тепловиділення, що полегшує експлуатацію та зменшує ризики, які пов'язані з перенавантаженням та перегрівом системи.

## 4.2 Вимоги до робочого місця

Розроблювана система включає в себе роботу з віддаленої точки доступу, яка може представлятися у вигляді комп'ютеру у виробничому середовищі. Робоче місце повинно бути забезпечено системою керування для окремого виробничого процесу, яке пов'язане з робочим місцем [24].

Основні вимоги які висуваються при роботі на робочу місці на виробництві:

– ергономічна організація робочого місця, яка включає в себе оптимальну відстань та висоту розміщення монітору (монітор на рівні очей на відстані від 550 мм до 750 мм), використання ергономічного крісла з підтримкою спини та зап'ясть, розташування клавіатури на комфортній висоті;

– проведення регулярних перерв кожні 60 хвилин для уникнення перенапруження очей і зменшення ризиків розвитку проблем з м'язами;

– забезпечення належного природнього та штучного освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 для уникнення відлисків на екрані та камері спостереження та зменшення навантаження на очі.

Для забезпечення ефективного штучного освітлення можна використати люмінесцентні лампи, які обладнані відбивачами або розсіювачами [25]. Перевагою використання люмінесцентних ламп поміж інших, таких як ламп розжарювання, полягає у їх ефективності, так як світлова віддача таких ламп становить від 40 лм/Вт до 100 лм/Вт. Оптимальне значення освітленості при роботі за комп'ютером становить від 300 люкс до 500 люкс, але не може бути меншим за 200 люкс.

Припустимо, що площа кімнати, в якій знаходиться робоче місце, складає 10 м<sup>2</sup>. Тоді за формулою (4.2) можна розрахувати поточну освітленість в кімнаті.

$$\text{Освітленість} = \text{Площа приміщення} \cdot \text{Вимоги до світленості}. \quad (4.2)$$

Тоді розрахуємо поточну освітленість в кімнаті за формулою (4.2).

$$\text{Освітленість} = 10 \cdot 300 = 3000 \text{ лм}.$$

Використовуючи люмінесцентні лампи з ефективністю 100 лм/Вт, можна розрахувати необхідну потужність ламп за формулою (4.3).

$$\text{Потужність} = \frac{\text{Поточна освітленість}}{\text{Ефективність ламп}}. \quad (4.3)$$

Розрахуємо необхідну потужність ламп за формулою (4.3).

$$\text{Потужність} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ Вт.}$$

Отже, для забезпечення необхідної освітленості можна використати три люмінесцентні лампи по 10 Вт.

## ВИСНОВКИ

У ході кваліфікаційної роботи було проведено аналіз сучасного виробництва, розглянуті основні тенденції розвитку. Було проаналізовано впровадження нових систем та технологій, які забезпечують надійність роботи на підприємстві.

Під час виконання кваліфікаційної роботи була вивчена предметна область системи моніторингу виробничого процесу ультразвукової відмивки друкованих плат, її впровадження на підприємстві, проаналізовані сучасні аналоги, що дозволило сформувавши вимоги до розробки власної системи моніторингу.

Був проведений вибір та обґрунтування основних елементів та технічних засобів, які дозволять розробити систему моніторингу.

У якості лабораторного макету було розроблено схему підключення компонентів системи, що дозволило зрозуміти структуру майбутнього фізичного макету. Було розроблено структурну схему, яка відображає архітектуру розроблюваної системи.

Були проведені розрахунки гідравлічного тиску миючої рідини для відмивки ДП, що дозволило обрати необхідну ультразвукову ванну. Були проведені розрахунки системи автоматичного керування для визначення значення компонентів та загального контрольного сигналу ПД-регулятора для стабілізації температурного показника для підігріву миючої рідини у ванні, а також проведено розрахунок визначення відстані до об'єкта, а саме визначення рівня води у ванні, через ультразвуковий датчик відстані.

Був розроблений алгоритм роботи системи, який дозволив сформувавши принцип роботи програмного забезпечення.

Було зібрано фізичний макет системи з вказаним підключенням елементів до основного керуючого модуля.

Було аргументовано вибір засобів розробки програмного забезпечення, розроблено структуру бази даних, для збереження та візуалізації спостережуваних параметрів.

Була розроблена програма керування системою моніторингу для основного керуючого модуля, описано її функціонал, наведено принцип її роботи та зображення графічного користувацького інтерфейсу. Також для візуалізації даних з бази даних було наведено та описано програмний код формування графіку та графічний користувацький інтерфейс.

Підсумовуючи, були виконані наступні завдання, які ставилися:

- вивчено структуру сучасного виробництва;
- вивчено предметну область системи моніторингу виробничих процесів;
- проаналізовано та виконано порівняння існуючих рішень впровадження систем моніторингу;
- обрано апаратне забезпечення та технічні засоби для розробки системи моніторингу;
- розроблена схема підключення компонентів системи
- розроблена структурна схема;
- зібрано фізичний макет системи моніторингу;
- розроблено програмне забезпечення для керування системою моніторингу та відображення даних з БД у вигляді графіку.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано основну мету, а саме розроблено макет та програмне забезпечення системи моніторингу виробничого процесу, а саме моніторингу параметрів рівня води , температури для ультразвукової відмивки друкованих плат.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. - 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. - 66 с.
3. Юрченко О. Розроблення системи моніторингу роботи засобів виробництва та персоналу приладобудівного приміщення з використанням Esp32-sam / Юрченко О. // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) : збірник студентських наукових статей, 2023. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – С. 66-73.
4. Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/items/03f7d3c6-aa4a-4615-b864-0b4a6ab409e4>. Дата доступу: 07.05.2024.
5. Цмоць І. Г. Система моніторингу технологічних процесів «розумного підприємства» | Наукові журнали та конференції [Електронний ресурс] // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі». – 2018. – № 887. – С. 10–17. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/sisn/vsi-vypusky/vypusk-887-2018/systema-monitoryngu-tehnologichnyh-procesiv-rozumnogo-pidpryyemstva>. Дата доступу: 07.05.2024.
6. Промислові системи автоматизації SIMATIC. Siemens Global Website [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial.html>. Дата доступу: 06.05.2024.

7. Experion PKS | Honeywell. Home [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://process.honeywell.com/us/en/products/control-and-supervisory-systems/distributed-control-systems-dcs/experion-pks>. Дата доступу: 06.05.2024.
8. SMART рішення для виробництва електроніки. SMT PROF. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://smt-prof.com.ua/ua>. Дата доступу: 29.05.2024.
9. Cleaning PCBA | ultrasonic or spray cleaning systems?. Zestron. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.zestron.com/en/know-how/factchecks/cleaning-pcbs-ultrasound-spraying>. Дата доступу: 29.05.2024.
10. Сторожук В. А., Вісковатов М. А. Автоматизовані системи моніторингу виробничих процесів. «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2022 : Collection of Students' Scientific Paper. 2022. 76–82 с. Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/4e4f1d21-5705-4d0c-ad3c-7fbe4cf59ae6>. Дата доступу: 05.05.2024.
11. ESP-WROOM-32 Datasheet. ALLDATASHEET.COM [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1179101/ESPRESSIF/ESP-WROOM-32.html>. Дата доступу: 06.05.2024.
12. OpenHacks | ArduCam CMOS OV7670 1/6-Inch 0.3-Megapixel Module Camera Module Datasheet [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://www.openhacks.com/uploadsproductos/ov7670\\_cmos\\_camera\\_module\\_rev\\_c\\_ds.pdf](https://www.openhacks.com/uploadsproductos/ov7670_cmos_camera_module_rev_c_ds.pdf). Дата доступу: 06.05.2024.
13. Servo Motor SG90 Datasheet [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1\\_EE/stores/sg90\\_datasheet.pdf](http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf). Дата доступу: 06.05.2024.
14. DHT11 Datasheet. ALLDATASHEET.COM [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132088/ETC2/DHT11.html>. Дата доступу: 06.05.2024.
15. L293D Datasheet. ALLDATASHEET.COM [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22432/STMICROELECTRONICS/L293D.html> Дата доступу: 24.05.2024.

16. Allam, A. H., & Dahlan, H. M. (2013). User experience: challenges and opportunities. *Journal of information systems research and innovation*, 3(1), 28-36.

17. Миття плат в ультразвуковій ванні, ультразвукове очищення. КВІНТАЛ. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://kvintal.com.ua/ultrazvukovaya-ochistka-pechatnyh-plat/>. Дата доступу: 27.05.2024.

18. Calculation of the liquid level using hydrostatic pressure. WİKA blog. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://blog.wika.com/products/level-products/hydrostatic-level-measurement-open-geometries-vessels-calculation-filling-height/>. Дата доступу: 27.05.2024.

19. Ультразвукова ванна Jeken (Codyson) PS-06A. Інтернет-магазин контрольно-вимірювальних приладів КВП. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://starcom.com.ua/ultrazvukovaya-vanna-jeken-codyson-ps-06a/>. Дата доступу: 27.05.2024.

20. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. Для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

21. Arduino IDE software. Arduino. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software>. Дата доступу: 27.05.2024.

22. GitHub - me-no-dev/ESPAsyncWebServer: Async Web Server for ESP8266 and ESP32. GitHub. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>. Дата доступу: 27.05.2024.

23. Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками : Наказ М-ва соц. політики України від 28.12.2017 р. № 2072. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0097-18#Text>. Дата доступу: 01.06.2024.

24. Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників : Наказ М-ва надзвича. ситуацій України

від 25.01.2012 р. № 67. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12#Text>. Дата доступу: 01.06.2024.

25. Про затвердження Правил охорони праці у виробництві джерел світла та світлотехнічного обладнання : Наказ Держ. ком. України з пром. безпеки, охорони пр. та гірн. нагляду від 18.12.2007 р. № 316. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0067-08#Text>. Дата доступу: 01.06.2024.