

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Шифр КвРКІ 022048.22.02.82 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, гр. КІ2-22-2


Підпис

Максим ЛАБА
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«02» червня 2026 р.

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС



Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лабі Максиму Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин

Керівник проекту (роботи) Кисіль Тетяна Миколаївна, к.фіз-мат.н... доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2026 р. № 5

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз програмно-апаратних засобів контролю умов зберігання медикаментів та вакцин

Проектування програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин

Реалізація та тестування програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Структура ПЗ

Схема електрична принципова

Сценарії та інтерфейс системи контролю умов зберігання медикаментів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – Огляд відомих систем контролю умов зберігання медикаментів та вакцин	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – Проектування апаратно-програмного засобу для контролю умов зберігання медикаментів або вакцин у кіберфізичній систем	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – Тестування та реалізація апаратно-програмного засобу контролю умов зберігання медикаментів або вакцин у кіберфізичній системі.	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач

Підпис

Максим ЛАБА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин».

Автор роботи: Лаба Максим.

Керівник роботи: Тетяна Кисіль.

Пояснювальна записка: 64 с., 39 рис., 1 табл., 3 дод., 52 джерел.


Графічна частина: 3 креслення.

КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, NODE-RED.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів або вакцин.

Сучасний етап розвитку технологій характеризується активним поєднанням інформаційних систем із фізичними процесами, що відкриває нові можливості для підвищення якості, безпеки та ефективності у різних сферах діяльності. Однією з важливих галузей є зберігання медикаментів і вакцин, де суворе дотримання температурного режиму та інших умов є критично необхідним для збереження їх властивостей і безпечності використання.

Використання мікроконтролера ESP32 як апаратної основи для розробки такого рішення дозволяє реалізувати компактний і автономний пристрій із широкими функціональними можливостями. Завдяки наявності вбудованих модулів бездротового зв'язку та підтримці різноманітних датчиків, система може здійснювати безперервний моніторинг температури, вологості та інших показників, забезпечувати своєчасне інформування про порушення встановлених норм і зберігати дані для подальшого аналізу. Це сприяє підвищенню надійності процесу зберігання та мінімізації ризиків, пов'язаних із псуванням медичних препаратів.






Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Аналіз програмно-апаратних засобів контролю умов зберігання медикаментів та вакцин	6
1.1 Огляд систем контролю умов зберігання та їх значення	6
1.2 Основні вимоги до зберігання медикаментів і вакцин	8
1.3 Сучасні технології моніторингу температури та вологості	9
1.4 Протоколи та технології передачі даних у системах моніторингу	15
1.5 Постановка задачі	20
1.6 Висновки до першого розділу	20
2 Проектування програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин	23
2.1 Визначення вимог до програмно-апаратного засобу	23
2.2 Проектування структури програмно-апаратного засобу	25
2.3 Схема електрична клієнтського пристрою	28
2.4 Вибір апаратних компонентів пристрою	30
2.5 Визначення вартості компонентів пристрою	36
2.6 Висновки до другого розділу	38
3 Реалізація та тестування програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин	39
3.1 Налаштування хмарного сервісу для обміну даними між пристроями	39
3.2 Реалізація клієнта керування	42
3.3 Реалізація клієнта пристрою	51
3.4 Тестування роботи програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин	53
3.5 Висновки до третього розділу	59

КвРКІ 022048.22.02.82 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Максим ЛАБА		
Перевір.		Тетяна КИСІЛЬ		
Н. контр.		Тетяна КИСІЛЬ		
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		
Програмно-апаратний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин			Літера	Арквщ
			у	Арквщів
			2	81
ХНУ КІ2-22-2				

Висновки.....	62
Перелік джерел посилань	65
Додаток А копія креслення структура програмно-апаратного пристрою	71
Додаток Б копія креслення схема електрична принципова	72
Додаток В програмна реалізація та інтерфейс системи контролю умов зберігання медикаментів.....	73
Додаток Г Лістинг програмно-апаратного засобу.....	72

ВСТУП

Сучасний розвиток технологій характеризується активним поєднанням інформаційних систем із фізичними процесами, що відкриває нові можливості для підвищення ефективності, безпеки та якості роботи в різних сферах діяльності. Однією з таких сфер є зберігання медикаментів і вакцин, де дотримання встановлених умов має вирішальне значення. Порушення температурного режиму, рівня вологості або інших параметрів середовища може призвести до втрати ефективності препаратів, зміни їх властивостей або навіть повної непридатності до використання, що створює ризики для здоров'я людей і спричиняє економічні збитки.

Особливої актуальності це питання набуває у медичних закладах, аптеках, лабораторіях та під час транспортування вакцин, де необхідно забезпечити безперервний контроль умов зберігання. Традиційні методи контролю, які базуються на періодичних ручних вимірюваннях, не завжди є достатньо ефективними, оскільки не дозволяють оперативно виявляти відхилення та своєчасно реагувати на них. Саме тому зростає потреба у впровадженні автоматизованих систем моніторингу, які працюють у режимі реального часу та мінімізують вплив людського фактору.

У цьому контексті доцільним є використання мікроконтролерів, зокрема ESP32, які поєднують високу продуктивність, енергоефективність та наявність вбудованих модулів бездротового зв'язку. Це дозволяє створювати компактні та автономні пристрої, здатні виконувати збір даних із датчиків температури, вологості та інших параметрів, їх первинну обробку та передачу до віддалених систем. Завдяки цьому забезпечується безперервний контроль умов зберігання незалежно від присутності персоналу.

Інтеграція пристрою з хмарними сервісами з використанням протоколу MQTT відкриває можливості для організації централізованого моніторингу та зберігання даних. Передача інформації в режимі реального часу дає змогу швидко реагувати на будь-які відхилення від встановлених норм, а також формувати

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						4
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

історію змін параметрів середовища для подальшого аналізу. Це особливо важливо для забезпечення контролю якості та дотримання нормативних вимог у сфері охорони здоров'я.

Додатковим елементом системи є використання середовища Node-RED, яке забезпечує зручний інструмент для візуалізації даних і налаштування логіки роботи системи. Завдяки графічному підходу до побудови алгоритмів користувач може легко створювати сценарії обробки подій, налаштовувати сповіщення у разі перевищення допустимих значень параметрів, а також інтегрувати систему з іншими сервісами. Це значно спрощує експлуатацію системи та робить її доступною для широкого кола користувачів.

Важливою перевагою розроблюваного рішення є його масштабованість і гнучкість. Система може бути адаптована до різних умов експлуатації – від невеликих аптечних холодильників до складських приміщень або транспортних контейнерів. Крім того, можливе розширення функціоналу за рахунок підключення додаткових датчиків або інтеграції з іншими інформаційними системами.

Отож, поєднання апаратних і програмних засобів дозволяє створити ефективний інструмент контролю умов зберігання медикаментів і вакцин, який забезпечує підвищення надійності, безпеки та якості їх зберігання, а також сприяє зменшенню ризиків, пов'язаних із порушенням встановлених вимог.

Метою роботи є розробка програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин на основі ESP32 із функцією моніторингу та сповіщення.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ МЕДИКАМЕНТІВ ТА ВАКЦИН

1.1 Огляд систем контролю умов зберігання та їх значення

Системи нагляду за умовами зберігання медикаментів та вакцин є невід'ємною частиною сучасної інфраструктури охорони здоров'я, що гарантує підтримання потрібних параметрів середовища для збереження гідності та дієвості лікарських засобів. Такі системи належать до типу програмно-апаратних рішень, які єднують фізичні виміри з електронною обробкою відомостей та пересилкою даних.

Фундаментом роботи таких систем є сенсори, що виступають у ролі головних джерел відомостей. Вони проводять постійний контроль параметрів середовища, зокрема температури, вологості, а в певних випадках – тиску чи освітленості. Здобуті величини трансформуються у електричні сигнали, які прибувають до обчислювального вузла для подальшої опрацювання. Висока точність та незмінність роботи сенсорів є головними чинниками, оскільки навіть малі відхилення здатні вплинути на якість медикаментів.



Рисунок 1.1 – Апаратні складові концепції "Кіберфізична система" [12]

Іншим важливим елементом системи є обчислювальний модуль, найчастіше втілений на базі мікроконтролера. Він виконує функції збору даних із датчиків, їх аналізу та зіставлення із заданими пороговими значеннями. У разі виявлення відхилень від норми мікроконтролер генерує відповідні сигнали

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

для активації засобів сповіщення або передачі відомостей до віддалених систем. Таким чином, гарантується автоматизоване реагування на зміну умов зберігання.

Важливою складовою є також засоби передачі даних, які забезпечують зв'язок між локальним пристроєм та зовнішніми інформаційними системами. Використання сучасних бездротових технологій, як от Wi-Fi, дозволяє надсилати дані у режимі реального часу до хмарних платформ чи серверів. Це створює змогу централізованого моніторингу, збереження історії вимірювань та проведення аналітики.

Окрім цього, системи контролю можуть містити виконавчі механізми, які дають змогу активно впливати на умови зберігання. Наприклад, у разі зростання температури може автоматично вмикатися система охолодження або сигналізація. Такий підхід забезпечує не лише фіксацію відхилень, але й часткове або повне усунення їхніх наслідків без втручання людини.

Окрему роль у системах контролю відіграє інтерфейс взаємодії з користувачем. Він може бути реалізований у вигляді веб-інтерфейсу, мобільного додатку чи спеціалізованого програмного середовища. За допомогою інтерфейсу користувач має змогу отримувати актуальну інформацію про стан середовища, переглядати історію змін параметрів, налаштовувати граничні значення та одержувати сповіщення у разі виникнення аварійних ситуацій.

У сучасних умовах такі системи широко застосовуються у лікарнях, аптеках, складських приміщеннях, лабораторіях, а також під час транспортування медикаментів та вакцин. Особливої ваги вони набувають у випадках, коли необхідно дотримуватися так званого "холодового ланцюга", тобто безперервного підтримання визначеного температурного режиму на всіх етапах зберігання і транспортування.

Завдяки впровадженню автоматизованих систем контролю значно зростає надійність зберігання медикаментів, зменшується ризик їх псування та забезпечується відповідність нормативним вимогам. Крім того, такі системи

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дозволяють оптимізувати робочі процеси, зменшити навантаження на персонал та підвищити загальний рівень безпеки.

Отак, системи контролю умов зберігання медикаментів і вакцин є важливим елементом сучасних технологічних рішень, які забезпечують якісне та безпечне зберігання лікарських засобів, а також творять основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем моніторингу.

1.2 Основні вимоги до зберігання медикаментів і вакцин

Зберігання медикаментів та вакцин є однією з головних ланок у забезпеченні їх якості, ефективності та безпеки застосування. Більшість лікарських препаратів мають обмежену стійкість до впливу зовнішніх факторів, таких як температура, вологість, світло та умови перевезення. Саме тому правильна організація умов зберігання є критично важливою на всіх етапах – від виробництва до безпосереднього застосування.

Однією з найважливіших вимог є дотримання стабільного температурного режиму. Для вакцин і значної частини медикаментів стандартним є діапазон від +2°C до +8°C. Порухення цих меж може призвести до деградації активних речовин, зміни хімічної структури або повної втрати ефективності препарату. При цьому небезпечним є не лише тривале перевищення температури, але й короточасні коливання, які часто складно виявити без автоматизованого контролю. Саме тому важливо забезпечити безперервний моніторинг температури в режимі реального часу.

Окрім температури, важливу роль відіграє рівень вологості повітря. Підвищена вологість може спричинити пошкодження упаковки, зміну фізичних властивостей таблетованих або порошкових форм препаратів, а також впливати на стабільність активних компонентів. Занадто низька вологість також небажана, оскільки може призводити до пересихання або зміни структури окремих лікарських форм. Тому контроль вологості є обов'язковим параметром у системах зберігання.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ще одним важливим фактором є захист від світлового променіння. Частина медикаментів є фоточутливими, тобто під дією прямих сонячних променів або інтенсивного штучного освітлення вони можуть втрачати свої властивості. У таких випадках застосовуються спеціальні умови зберігання: затемнені приміщення, непрозора упаковка або захисні контейнери. Це дозволяє зменшити ризик руйнування активних речовин.

Окремої уваги потребує дотримання так званого "холодового ланцюга", особливо у випадку вакцин. Це система безперервного контролю температури на всіх етапах логістики: від виробництва, зберігання на складах і в аптеках до транспортування та введення пацієнту. Навіть короточасний розрив цього ланцюга може зробити препарат непридатним до використання, навіть якщо зовнішні ознаки не змінилися.

Важливим аспектом також є контроль доступу до місць зберігання медикаментів. Обмеження доступу сторонніх осіб, ведення журналів обліку та фіксація всіх операцій з препаратами дозволяють підвищити рівень безпеки та уникнути людських помилок або несанкціонованого використання. У великих медичних закладах це особливо актуально через великий обсяг лікарських засобів.

Крім того, сучасні вимоги передбачають використання автоматизованих систем моніторингу. Такі системи дозволяють у режимі реального часу відстежувати стан середовища, зберігати історію вимірювань, формувати сповіщення у разі відхилень та передавати дані на віддалені сервери. Це значно підвищує надійність контролю та зменшує залежність від людського фактору.

Отже, дотримання вимог до зберігання медикаментів і вакцин є обов'язковою умовою забезпечення їх якості та безпеки. Використання сучасних програмно-апаратних систем контролю дозволяє підтримувати стабільні умови, оперативно реагувати на відхилення та мінімізувати ризики псування препаратів, що є особливо важливим у медичній сфері.

1.3 Сучасні технології моніторингу температури та вологості

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Поточні засоби для відстеження теплового режиму та рівня вологості являють собою один із базових елементів у системах, призначених для автоматизації контролю умов зберігання лікарських засобів та вакцинних препаратів. Головне їхнє призначення зводиться до гарантування невинного накопичення відомостей про стан оточуючого середовища, наступної їхньої консолідації та надсилання даних кінцевому споживачеві або до головного вузла управління. В реаліях сьогодення подібні розробки стали обов'язковим компонентом рішень Інтернету Речей (IoT), де фізичні характеристики середовища поєднуються з цифровими платформами для проведення аналізу та формування необхідних кроків.

Ядром будь-якої апаратної системи моніторингу слугують вимірювальні пристрої (сенсори), відповідальні за фіксацію показників тепла й рівня водяної пари. Найбільш затребуваними вважаються цифрові перетворювачі типу DHT11, DHT22, SHT21, SHT31, а також більш високоточні промислові моделі, як-от AM2301 або сенсори, що використовують I2C-протокол. Вони забезпечують збір інформації з високою надійністю та незначним відхиленням від істинного значення. Для ситуацій, де критично важлива підвищена точність вимірювання (особливо у сфері фармацевтики), часто залучають температурні датчики, наприклад, DS18B20. При цьому датчики вологості функціонують на основі визначення електричної ємності, що гарантує адекватну точність та тривалу працездатність без деградації характеристик.



Рисунок 1.2 – цифровий датчик DHT22 [25]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Важливим етапом розвитку таких систем стало впровадження мікроконтролерних платформ, які забезпечують обробку даних у режимі реального часу. Найбільш популярними є ESP8266 та ESP32, які поєднують у собі високу продуктивність, низьке енергоспоживання та вбудовані модулі бездротового зв'язку. Завдяки цьому вони можуть виконувати роль центрального вузла системи моніторингу, який приймає дані з датчиків, аналізує їх та передає у зовнішні системи.

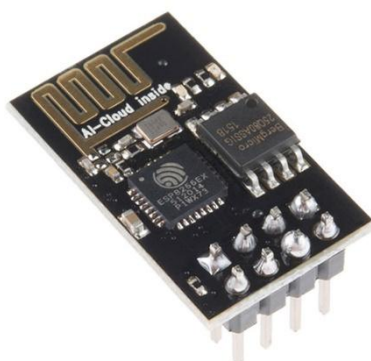


Рисунок 1.3 – модуль ESP8266 [26]

Виняткове значення у передових технічних рішеннях має процес обміну інформацією. Здебільшого, для цього залучають бездротові стандарти як-от Wi-Fi, Bluetooth чи Zigbee, що дає змогу створювати системи з високою адаптивністю та можливістю розширення, усуваючи потребу в фізичному прокладанні кабелів. Серед найбільш уживаних методів комунікації варто виділити протокол MQTT, який гарантує легку й оперативну доставку повідомлень між апаратурою та центральним вузлом. Його ключовим плюсом є незначний вплив на завантаження мережевої інфраструктури та здатність функціонувати навіть за умов нестійкого зв'язку.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

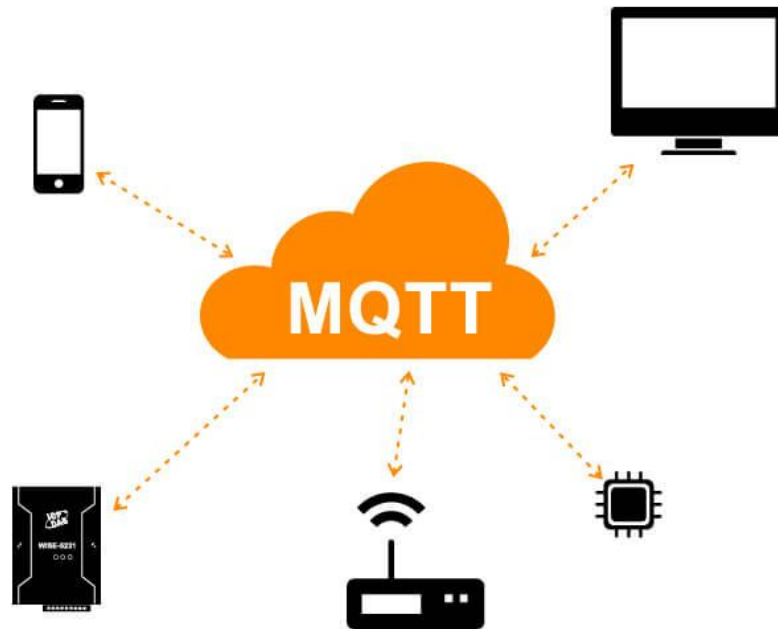


Рисунок 1.4 – протокол обміну даними MQTT

Останнім часом системи для нагляду та контролю переважно сполучаються із сервісами, розміщеними у хмарі. Серед таких рішень можна назвати ThingsBoard, Blynk IoT, AWS IoT Core, Google Firebase та низку інших. Ці платформи надають змогу не просто архівувати зібрану інформацію, а й відображати її графічно: будувати графіки, діаграми та переглядати архівні відомості. У такий спосіб особа, яка користується системою, отримує змогу досліджувати, як змінювалися певні показники з плином часу, і, керуючись цими даними, ухвалювати необхідні кроки. Окрім того, хмарні рішення вбудовують механізми інформування, наприклад, надсилаючи повідомлення на електронну пошту, у вигляді СМС або ж як сповіщення у мобільному застосунку. Ще один основний вектор розвитку – це впровадження алгоритмів для обробки зібраних даних. З огляду на те, що показання датчиків схильні до невеликих флуктуацій, застосовуються методики усунення шумів, розрахунку середніх значень чи застосування ковзних середніх. У більш просунутих конфігураціях можуть залучатися елементи прогнозування динаміки параметрів оточення, спираючись на зібрану статистичну інформацію. Це дає змогу не лише фіксувати поточну ситуацію, а й завбачливо передбачати потенційні відхилення.

Значущим трендом є злиття систем контролю з іншими модулями "розумного простору". Приміром, якщо температура перевищує встановлену межу, система здатна автоматично задіяти охолодження, або ж при зниженні рівня вологості може бути активований зволожувач. Такий спосіб дій дає змогу трансформувати пасивний нагляд у проактивне керування параметрами середовища.

Також варто звернути увагу на прогрес у сфері незалежних (автономних) систем спостереження, здатних функціонувати без перманентного з'єднання з мережею. У таких випадках відомості зберігаються локально на пристрої або ж передаються періодично, коли з'являється зв'язок. Це посилює стійкість системи у місцевостях із непевною мережевою присутністю.

Виходить так, що актуальні технології контролю температури та вологості ґрунтуються на всебічній комбінації сенсорних пристроїв, мініатюрних процесорів, бездротових протоколів та хмарних сервісів. Їхнє використання забезпечує значний ступінь точності, миттєвої реакції та надійності нагляду, що є критично важливим у галузі зберігання лікарських засобів та вакцин, де навіть найменші розбіжності можуть мати фатальні наслідки для якості речовини.

Окрім того, слушно зважити, що актуальні системи контролю поступово еволюціонують у напрямку посиленої енергоефективності та самодостатності. Цього досягають завдяки впровадженню компонентів з невеликим енергоспоживанням, унормуванню процедур зчитування даних із сенсорів та активації режимів сну у мікроконтролерах. Такий підхід дає змогу суттєво знизити енерговитрати, що є надзвичайно важливим для систем контролю, які працюють від акумуляторів чи розташовані у важкодоступних місцях. Важливою є також здатність таких рішень до розширення. Сучасні технічні надбання дозволяють легко нарощувати систему, додаючи нові датчики чи вузли без кардинальної перебудови існуючої структури. Це дає можливість застосовувати подібні системи як у невеликих лабораторіях чи аптечних закладах, так і на масштабних складських чи логістичних об'єктах.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Особливої уваги заслуговує питання стійкості роботи та збереження інформації. У професійних варіантах передбачається наявність дублювання життєво необхідних даних – як на локальному пристрої, так і в хмарному сховищі. Це запобігає втраті відомостей у разі мережових збоїв чи апаратних поломок.

Таким чином, актуальні системи контролю температури й вологості виходять за межі простого вимірювання умов середовища, перетворюючись на цілісні інтелектуальні комплекси, що об'єднують збір даних, їх обробку, аналіз та автоматичне реагування. Це робить їх невід'ємною частиною сучасних кіберфізичних установок у медицині та зберіганні матеріалів, чутливих до умов.

Додатково варто брати до уваги точність та процедуру калібрування сенсорів, адже навіть високоякісні датчики з часом можуть накопичувати похибку вимірювань. У промислових та медичних конфігураціях це вирішується через періодичну верифікацію та програмну корекцію відхилень. Більш передові рішення також використовують автоматичну поправку даних на базі еталонних показників чи резервних сенсорів.

Ще одним ключовим моментом є швидкість, з якою система реагує на зміни умов. Якщо йдеться про зберігання вакцин, навіть короткочасне перевищення температурної межі може мати катастрофічні наслідки, тому система мусить не лише фіксувати зміни, а й миттєво посилати тривожний сигнал. Для цього застосовуються оптимізовані алгоритми опитування датчиків та надання пріоритету аварійним повідомленням при передачі.

Окремо слід розглянути інтеграцію систем контролю з портативними пристроями кінцевих користувачів. Сучасні IoT-рішення дають змогу отримувати сповіщення через push-сповіщення чи месенджери, що відчутно пришвидшує реагування на небезпечні ситуації. Це особливо важливо, коли користувач не має фізичного доступу до місця зберігання.

Варто також відзначити тренд на впровадження штучного інтелекту та аналітики великих обсягів даних у системи контролю. Спираючись на

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

накопичену інформацію про температуру та вологість, можна будувати прогнози, ідентифікувати типові відхилення та навіть виявляти ранні ознаки несправностей обладнання. Це дозволяє перейти від простого спостереження до розумного управління умовами зберігання.

Крім того, сучасні системи все частіше проектуються з урахуванням вимог кібербезпеки. Оскільки передача даних відбувається мережею, критично важливим є забезпечення захисту від несанкціонованого втручання. Для цього використовуються методи шифрування даних, підтвердження ідентичності пристроїв та захищені протоколи зв'язку.

Отже, актуальні технології моніторингу температури та вологості являють собою багат шарові структури, що поєднують апаратні вимірювальні модулі, програмні алгоритми обробки, мережеві засоби та елементи інтелектуального аналізу. Їхній розвиток спрямований на підвищення точності, надійності та автономності функціонування, що є вирішальним у секторі зберігання медикаментів та вакцин, де вимоги до стабільності умов є найсуворішими.

1.4 Протоколи та технології передачі даних у системах моніторингу

У системах, призначених для контролю умов зберігання лікарських засобів та вакцин, обмін даними має таке ж критичне значення, як і сама процедура фіксації показників. Швидкість надходження відомостей, стійкість системи, її ощадливе використання енергії, а також потенціал для розширення безпосередньо детермінуються типом обраного протоколу та технології для встановлення зв'язку. Це особливо стосується систем, збудованих на основі мікроконтролерів такої моделі, як ESP32, котрі функціонують в умовах обмеженого доступу до ресурсів.

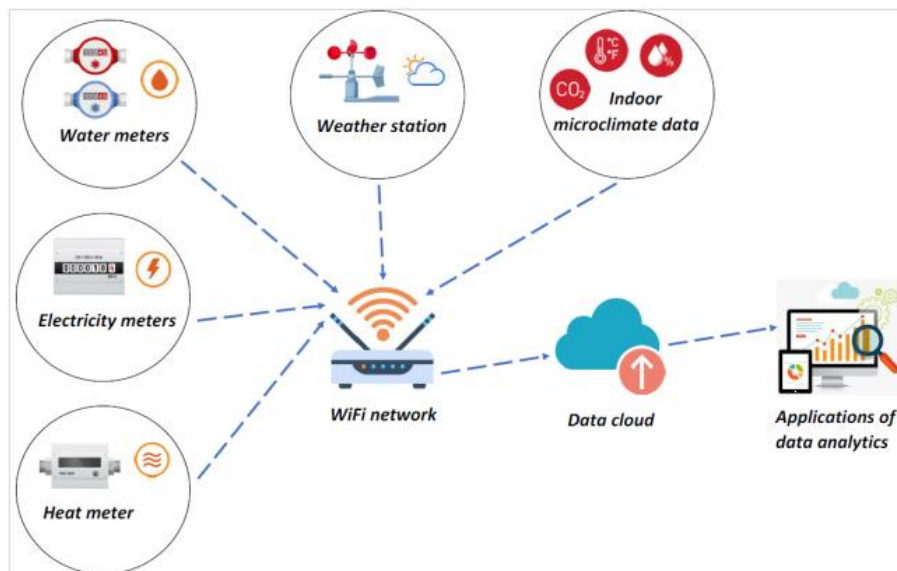


Рисунок 1.5 – Архітектура передачі даних у системі моніторингу

На противагу загальноприйнятим комп'ютерним архітектурам, в IoT-впровадженнях задіяні як стандартні інтернет-протоколи, так і вузькоспеціалізовані технології, оптимізовані для сенсорних мереж. Тут ключовим моментом стає знаходження оптимального співвідношення між обсягами пересиланих даних, надійністю каналу зв'язку та енергоефективністю кінцевого обладнання.

Фундаментальним варіантом для комунікації є Wi-Fi, що активно застосовується всередині будівель – у медичних установах, на аптечних складах чи в лікарняних приміщеннях. Його сильні сторони включають високу пропускну здатність, наявність готової мережевої бази та безпроблемне сполучення з хмарними рішеннями. Саме Wi-Fi найчастіше комбінується з контролерами на кшталт ESP32, що дає змогу налагодити пряму комунікацію між пристроєм та сервером чи системою стеження без потреби у додаткових шлюзах.

Проте у ситуаціях, коли пріоритетом є економія заряду акумулятора або потреба у більшій дальності радіосигналу, звертаються до інших бездротових методик. Зокрема, технологія Bluetooth Low Energy (BLE) дає змогу здійснювати обмін даними на невеликій дистанції при надзвичайно низьких витратах енергії. Такий підхід виявляється доречним для локалізованих систем,

коли зчитування інформації відбувається, наприклад, через портативний пристрій технічного персоналу.



Рисунок 1.6 – Порівняння бездротових технологій

Для чималих об'єктів або складських теренів можуть бути доречними мережі Zigbee, які спроможні формувати mesh-топологію. У подібній мережі апарати здатні пересилати інформацію послідовно один через одного, що суттєво збільшує радіус охоплення без потреби у потужному передавачі. Zigbee вирізняється низьким рівнем енерговитрат та високою стабільністю роботи, через що він підходить для тривалого контролю.

Окремо слід виділити технології LPWAN (Low Power Wide Area Network), на кшталт LoRaWAN. Вони дають змогу пересилати відомості на значні відстані – до кількох кілометрів – при гранично низькому споживанні енергії. Це життєво важливо для систем моніторингу, які розміщені за межами усталеної Wi-Fi-інфраструктури, наприклад, у логістичних хабах або під час перевезення медикаментів. Стосовно прикладних протоколів, окрім MQTT, у системах контролю часто задіяний HTTP/HTTPS. Його використовують для надсилання даних на сервер через REST API, а також задля налаштування апаратури. Хоча HTTP створює більше навантаження на мережеву інфраструктуру, він є універсальним і чудово підтримується переважною більшістю платформ.

У сценаріях, де ключовим є зменшення обсягу трафіку, використовується протокол CoAP, який оперує поверх UDP. Він гарантує швидку передачу даних

із мінімальними накладними витратами й підтримує механізми підтвердження доставки. Це робить його ефективним для сенсорних систем, де пересилаються невеликі пакети інформації.

Також у системах моніторингу знаходить застосування технологія WebSocket, яка забезпечує стабільне двостороннє сполучення між клієнтом і сервером. Вона особливо цінна для веб-інтерфейсів, де необхідно відобразити дані у реальному часі без постійних запитів до сервера. Це дає можливість створювати зручні дашборди з миттєвим оновленням показників.

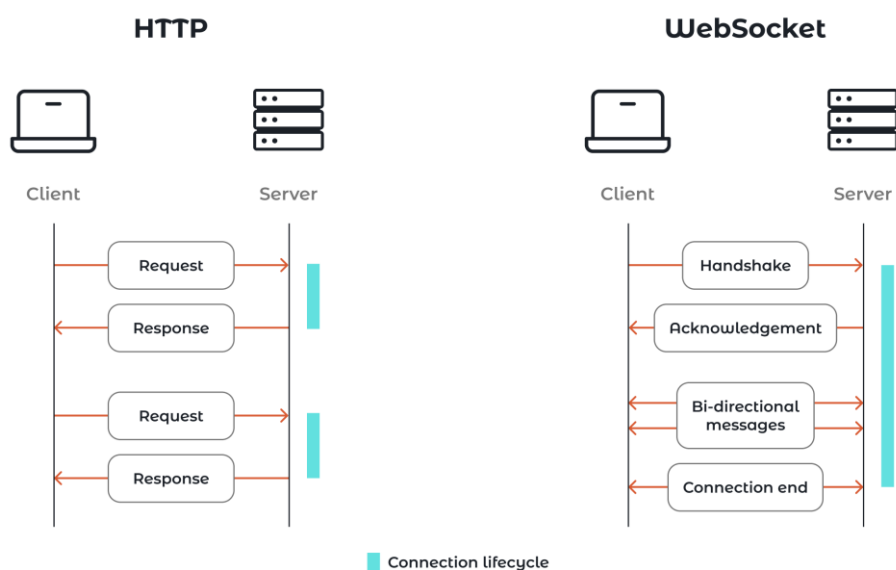


Рисунок 1.7 – Взаємодія клієнта і сервера

Особливу увагу слід приділити гарантуванню сталості обміну даними. В системах спостереження задіюються такі механізми, як повторне надсилання, буферне накопичення інформації та її зберігання на місці у разі втрати з'єднання. Це дає змогу уникнути втрати критично важливих відомостей, навіть коли мережевий зв'язок тимчасово переривається.

Ба більше, серйозний акцент робиться на захищеність даних під час їхньої передачі. Застосування зашифрованих протоколів (наприклад, HTTPS, TLS), валідації обладнання та криптографічного захисту інформації уможливорює запобігання неавторизованому доступу чи фальсифікації даних. Це має

першочергове значення у сфері медицини, де достовірність та правильність даних є життєво необхідними.

Отже, у сучасних системах моніторингу використовується цілий набір різноманітних комунікаційних протоколів та технологій, кожна з яких має свої сильні та слабкі сторони. Вибір конкретного рішення обумовлюється умовами експлуатації, вимогами до економії енергії, радіусом дії зв'язку та необхідним рівнем безумовності передачі. Розумне поєднання цих технологічних рішень дозволяє створити ефективний, стійкий та захищений комплекс для контролю умов зберігання лікарських засобів та вакцинних препаратів.

Додатково необхідно мати на увазі питання затримок у передачі даних (латентність), які можуть виникати під час функціонування мережі. У системах спостереження, особливо тих, що залучені до контролю умов зберігання вакцин, критично важливим є зведення затримок до мінімуму, адже навіть невелика часова різниця може позначитися на швидкості реакції у надзвичайних ситуаціях. З цією метою запроваджуються оптимізовані протоколи передачі та відбувається локальна обробка інформації безпосередньо на мікроконтролері.

Ще один важливий аспект стосується обсягів даних, що надсилаються. У переважній більшості випадків системи моніторингу передають невеликі інформаційні блоки (показники температури, вологість, час фіксації виміру), проте при великій кількості апаратних засобів це може створювати суттєве навантаження на мережу. Тому впроваджуються методи стиснення даних, передача лише тих значень, що змінилися, або встановлення регламентованих інтервалів передачі, що сприяє оптимізації роботи всієї системи.

Крім того, відчутну роль відіграє узгодження часу між усіма пристроями. Для правильного ведення логів та аналізу історичної інформації необхідно, щоб усі зняті показники мали точні часові позначки. Це забезпечується через використання NTP-серверів або впровадження локальних механізмів синхронізації, що гарантує цілісність даних у межах усієї системи.

У практичних втіленнях також поширеним є одночасне використання кількох протоколів. Наприклад, один протокол може бути застосований для надсилання даних моніторингу, а інший – для конфігурування пристрою чи оновлення його програмного забезпечення. Такий підхід підвищує гнучкість системи та забезпечує раціональне використання її ресурсів.

Окремо варте уваги впровадження можливості дистанційного оновлення програмного забезпечення апаратних засобів ("повітряним шляхом", OTA - Over-The-Air). Це дозволяє вносити корективи у логіку роботи системи, усувати помилки чи додавати нові функції без необхідності фізичного втручання в пристрій. Для реалізації подібних функціональних можливостей також використовуються протоколи передачі даних, що гарантують надійне завантаження нових програмних версій.

Таким чином, протоколи й технології обміну даними у системах спостереження виконують не лише функцію комунікації, а й формують фундамент для побудови гнучких, масштабованих та надійних рішень. Їхня коректна селекція та комбінування дозволяє підвищити загальну продуктивність системи, забезпечити стабільність її функціонування та оперативне реагування на зміни умов зберігання медикаментів і вакцин.

1.5 Постановка задачі

Одним із визначальних мотивів створення апаратно-програмного комплексу для нагляду за умовами зберігання лікарських засобів та вакцин полягає у необхідності гарантувати стабільний режим температури й вологості, оскільки від цього безпосередньо залежить якість та терапевтична спроможність цих субстанцій. Проведений аналіз показав, що сучасні засоби відстеження ґрунтуються на застосуванні сенсорів, мікроконтролерів та радіотехнологій для передачі інформації, що дає змогу контролювати параметри у режимі реального часу.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Водночас, комерційно доступні рішення нерідко мають певні вади, серед яких виділяються висока ціна, обмеженість у налаштуваннях, прив'язаність до зовнішніх хмарних сервісів та складність впровадження у специфічні умови експлуатації. Це обґрунтовує доцільність розробки власного апаратно-програмного інструменту, який би вирізнявся більшою гнучкістю, доступністю та можливістю адаптації під індивідуальні потреби споживача.

Використання ESP32 як платформи для побудови системи моніторингу дозволяє реалізувати дієве рішення, яке об'єднує збір відомостей з датчиків температури та вологості, їхню обробку, передачу через бездротові мережі, а також представлення у формі, зручній для користувача. Завдяки інтегрованим модулям Bluetooth та Wi-Fi, забезпечується можливість дистанційного доступу до системи та оперативного реагування на будь-яку зміну умов зберігання.

Особливої уваги під час проєктування подібних систем слід приділити надійності каналів зв'язку, точності вимірювань, швидкості реагування на відхилення показників та здатності сповіщати оператора. Це дозволяє вчасно виявляти небезпечні ситуації та запобігати псуванню медикаментів і вакцин. Окрім того, важливими аспектами є питання енергоощадності, захищеності та масштабованості системи, що дає змогу застосовувати її як у малому приміщенні, так і на великих об'єктах.

Розробка апаратно-програмного засобу для контролю температури та вологості на базі ESP32 є актуальним завданням, спрямованим на підвищення рівня надійності нагляду за умовами зберігання лікарських засобів і вакцин.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено аналіз особливостей контролю умов зберігання медикаментів і вакцин, а також досліджено сучасні підходи до побудови систем моніторингу температури та вологості. Встановлено, що підтримання стабільного температурного режиму та допустимого рівня вологості є одним із ключових факторів забезпечення якості, ефективності та безпечності

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

лікарських засобів. Порушення умов зберігання може призвести до втрати терапевтичних властивостей препаратів, що створює ризики для здоров'я пацієнтів та спричиняє значні матеріальні збитки.

У ході дослідження було розглянуто існуючі програмно-апаратні рішення для моніторингу умов зберігання медикаментів і вакцин. Аналіз показав, що сучасні системи переважно базуються на використанні мікроконтролерів, цифрових датчиків температури та вологості, а також бездротових технологій передачі даних. Визначено, що найбільш поширеними технологіями обміну інформацією є Wi-Fi, Bluetooth та MQTT-протокол, які забезпечують можливість дистанційного доступу до параметрів системи та оперативного реагування на зміну умов зберігання.

Разом із тим було встановлено, що значна частина комерційних систем має певні недоліки, серед яких висока вартість, залежність від сторонніх хмарних сервісів, складність налаштування та обмежені можливості адаптації до конкретних умов експлуатації. Це підтверджує актуальність створення власного апаратно-програмного засобу, який буде більш гнучким, доступним та придатним для використання у медичних закладах, аптечних приміщеннях, лабораторіях і складських комплексах.

Під час аналізу було обґрунтовано доцільність використання мікроконтролера ESP32 як основи майбутньої системи. Основними перевагами цієї платформи є достатня обчислювальна потужність, наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, невисока вартість, енергоефективність і підтримка великої кількості периферійних пристроїв. Використання ESP32 у поєднанні з цифровими датчиками температури та вологості дозволяє створити ефективну систему моніторингу з можливістю передачі даних у режимі реального часу.

Отримані результати першого розділу створюють необхідну теоретичну основу для подальшого проектування та реалізації апаратно-програмного засобу контролю умов зберігання медикаментів і вакцин.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ МЕДИКАМЕНТІВ ТА ВАКЦИН

2.1 Визначення вимог до програмно-апаратного засобу

У процесі розробки апаратно-програмного комплексу для контролю умов зберігання лікарських засобів та вакцин, що ґрунтується на ESP32, був проведений аналіз та формування переліку як функціональних, так і нефункціональних критеріїв, які критично важливо врахувати для гарантування стійкої, безаварійної та безпечної роботи цієї системи. Основний акцент робився на достовірності вимірювань, неперервності процесу спостереження, швидкості реагування на зміщення заданих параметрів, а також можливості віддаленого доступу до отриманої інформації.

По-перше, однією з визначальних вимог є забезпечення безперервного контролю показників температури та вологості у приміщеннях чи холодильних установках, де зберігаються лікарські препарати або вакцини. Для досягнення цієї мети апаратна частина повинна оперувати відповідними цифровими сенсорами, здатними виконувати вимірювання з належним рівнем точності та стабільності. Зібрані дані мають регулярно зчитуватися через встановлені часові інтервали та відправлятися для подальшої обробки.

Далі, важливим аспектом є можливість здійснення контролю параметрів на відстані. Для цього планується задіяти бездротове з'єднання Wi-Fi, яке забезпечується функціоналом мікроконтролера ESP32. Система зобов'язана підключатися до глобальної мережі Інтернет та транслювати дані на визначений сервер або хмарну платформу. Як оптимальний варіант протоколу передачі даних пропонується MQTT, який гарантує швидку та ефективну комунікацію при мінімальних навантаженнях на мережеву інфраструктуру. Також система повинна мати можливість надсилати користувачеві сповіщення, якщо будь-які параметри виходять за межі встановлених допусків. Наприклад, у разі перевищення чи зниження температури відносно заданого порогового значення, користувач повинен негайно отримати відповідне повідомлення. Це дозволяє

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

оперативно вживати заходів у небезпечних ситуаціях, запобігаючи псуванню медикаментів чи вакцин.

Не менш важливою є вимога щодо забезпечення наочного відображення інформації безпосередньо на місці. Для цього може бути інтегрований LCD-екран або інший інтерфейс, який демонструє актуальні значення температури, вологості та загального статусу системи. Це створює зручність в експлуатації обладнання, не вимагаючи постійного зв'язку з мережею.

Окрема увага має бути приділена стійкості функціонування системи. Пристрій мусить зберігати працездатність навіть у випадку тимчасової втрати інтернет-зв'язку. У подібних ситуаціях зібрані дані повинні зберігатися локально і передаватися на сервер після відновлення комунікації. Крім того, є потреба у забезпеченні тривалої стабільної роботи сенсорів та мікроконтролера без необхідності ручного втручання.

Ще одним значущим критерієм є енергоефективність розроблюваного комплексу. Оскільки подібні пристрої зазвичай функціонують постійно, необхідно максимально знизити енергоспоживання, застосовуючи режими енергозбереження мікроконтролера та оптимізуючи частоту сеансів передачі даних.

Крім того, система зобов'язана гарантувати конфіденційність переданої інформації. Для цього необхідно впроваджувати захищені протоколи обміну даними, як-от TLS/SSL, а також використовувати механізми ідентифікації при встановленні зв'язку з сервером або брокером повідомлень. Це дає змогу запобігти несанкціонованому доступу до даних та підвищити загальну надійність усього рішення.

Підсумовуючи, визначені вимоги охоплюють основні аспекти роботи апаратно-програмного комплексу для моніторингу умов зберігання медикаментів та вакцин. Їх своєчасне врахування сприяє створенню дієвої, надійної та зручної у користуванні системи, яка відповідає сучасним стандартам для IoT-рішень у галузі охорони здоров'я.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Проектування структури програмно-апаратного засобу

Услід за з'ясуванням основних вимог, було розроблено архітектуру програмно-апаратного комплексу для моніторингу умов зберігання медикаментів та вакцин, що базується на платформі ESP32; її структурна схема представлена на рис. 2.1.

Запропонована до реалізації система складається із трьох основних складових частин:

- 1) клієнт приладний (на базі ESP32);
- 2) серверна частина у хмарі або MQTT-посередник;
- 3) клієнт для візуалізації (веб-інтерфейс або середовище Node-RED).

Приладний клієнт у цій системі втілено на мікроконтролері ESP32, який несе відповідальність за первинний збір та обробку відомостей про стан оточення. Його головне завдання полягає у зчитуванні показників температури і вологості з підключених сенсорів, їх початковій обробці та надсиланні до зовнішньої інфраструктури для подальшого аналітичного опрацювання.

Мікроконтролер ESP32 здійснює періодичне зчитування даних із сенсорів та порівнює їх із попередньо визначеними гранично допустимими значеннями. Якщо параметри залишаються в межах норми, система функціонує у звичайному режимі, відсилаючи актуальні показники на сервер. Однак, коли значення перевищують встановлені ліміти, мікроконтролер формує сповіщення про відхилення та ініціює передачу сигналу тривоги.

ESP32 періодично зчитує дані з датчиків та порівнює їх із заданими допустимими межами. У випадку, якщо параметри знаходяться в межах норми, система працює у штатному режимі та передає поточні значення на сервер. Якщо ж значення виходять за допустимі межі, мікроконтролер формує повідомлення про відхилення та ініціює передачу сигналу тривоги.

Додатково, у системі матиме місце реалізація механізму фільтрації та усереднення отриманих вимірів, що сприятиме мінімізації впливу випадкових незначних коливань і підвищить достовірність відображення реальних умов

середовища. Також передбачено опцію зберігання останніх отриманих даних у внутрішній пам'яті пристрою, що гарантує збереження інформації навіть при тимчасовій втраті мережевого з'єднання. Після відновлення зв'язку ці дані можуть бути скерувані на сервер, що запобігатиме втраті важливих відомостей.

Окрім цього, мікроконтролер здатний виконувати базову діагностику сенсорних елементів, наприклад, виявляти некоректні чи відсутні показання та генерувати відповідні службові повідомлення про виявлені помилки. Це підвищує загальну стійкість функціонування системи та дає змогу оперативно ідентифікувати можливі апаратні несправності.

На додаток, приладний клієнт може бути обладнаний засобами локальної візуалізації даних через дисплей, що дозволить користувачу мати доступ до актуальної інформації без потреби підключення до мережі. Також є можливість використання світлових чи звукових індикаторів для сповіщення про небезпечні відхилення вимірюваних параметрів.



Рисунок 2.1 – Структура програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів і вакцин

Окрім того, клієнт апаратури здатен забезпечувати локальне представлення відомостей через дисплей, що дає змогу особі, яка користується, бачити актуальні

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

дані без потреби у мережевому підключенні. Також передбачено використання звукових чи світлових індикаторів для сигналізації про серйозні відхилення встановлених показників.

У такий спосіб, клієнт апаратури функціонує як незалежна одиниця вимірювання та управління, котра здійснює неперервний нагляд за умовами зберігання і гарантує швидку передачу відомостей до загальної системи.

Інший компонент – це клієнт для спостереження. Клієнт моніторингу, реалізований як веб-інтерфейс або середовище Node-RED, відповідає за відображення отриманих даних та взаємодію з користувачем. Він дає можливість оглядати поточні показники температури та вологості, аналізувати динаміку їх змін, а також отримувати сповіщення про вихід за межі норми.

Користувач, оперуючи клієнтом моніторингу, може визначати прийнятні діапазони параметрів, переглядати архів вимірювань та отримувати інформацію про стан системи у режимі сьогодення. У разі настання гострої ситуації, система формує відповідне повідомлення, що може бути надіслане різними комунікаційними шляхами, як-от мобільні застосунки, електронна пошта чи месенджери.

Отже, клієнт моніторингу слугує інтерфейсом для взаємодії користувача зі системою, забезпечуючи легкий доступ до потрібної інформації та здатність оперативно реагувати на зміни умов зберігання.

Хмарний сервер або MQTT-брокер у межах даної системи виконує роль центрального вузла для обміну відомостями між клієнтом апаратури та клієнтом моніторингу. Його основне завдання – приймати, зберігати та пересилати інформацію між усіма складовими системи.

Обмін даними може відбуватися за допомогою декількох логічних каналів (топиків), наприклад:

- надсилання актуальних значень температури та вологості;
- передача тривожних сигналів про перевищення встановлених лімітів;
- надсилання службової інформації щодо стану самого пристрою.

Такий підхід дозволяє побудувати гнучку та розширювану систему, де кожна частина виконує свою визначену роль, а взаємодія між ними відбувається у незалежний спосіб.

Розроблена архітектура програмно-апаратного комплексу забезпечує ефективний контроль умов зберігання лікарських засобів та вакцин, надає можливість віддаленого нагляду та своєчасного реагування на зміну параметрів, що є життєво важливим для гарантування належної якості та безпеки фармацевтичної продукції.

2.3 Схема електрична клієнтського пристрою

Електричну схему було розроблено для клієнтського обладнання, призначеного для програмно-апаратного контролю умов, у яких зберігаються лікарські засоби та вакцини. Див. Рис. 2.2, де ця схема представлена. Наведена електрична схема ілюструє клієнтський пристрій, збудований навколо мікроконтролера ESP32, який відповідає за збір, попередню обробку та передачу відомостей про температуру та рівень вологості у приміщенні чи холодильній установці, де утримуються медичні препарати.

У цій схемі інтегровано підключення датчика температури та вологості, інтерфейс для локального відображення даних на екран LCD, систему як звукової, так і світлової індикації, а також стабілізоване живлення для всіх елементів від 5В джерела із пониженням напруги до 3.3В, необхідних для роботи ESP32.

Ядром схеми є мікроконтролер ESP32 (U3), що виконує функції головного вузла для обробки інформації. Саме він зчитує дані з датчика температури та вологості, аналізує отримані показники та вирішує, чи відповідають вони встановленим лімітам. У разі, коли параметри виходять за межі визначених норм, ESP32 генерує сигнал тривоги та надсилає відповідне сповіщення до зовнішньої системи моніторингу через Wi-Fi. Живлення мікроконтролера забезпечується через регулятор напруги LM1117 (U1), котрий знижує вхідні 5В до стабільних 3.3В, потрібних для функціонування ESP32. На вході та виході регулятора

розміщені конденсатори C1 (10 мкФ) та C2 (47 мкФ), які слугують для фільтрації шумів та стабілізації живлення, що є критично важливим під час роботи Wi-Fi модуля, який створює стрибки навантаження.

До ESP32 під'єднано цифровий сенсор температури й вологості (наприклад, DHT22 або SHT31), що забезпечує отримання актуальних показників оточуючого середовища. Передача даних відбувається через один із GPIO-виводів за допомогою або однопровідного, або I2C протоколу, залежно від типу обраного датчика. Це дає змогу отримувати точні значення температури та відносної вологості з мінімальною затримкою.

Для відображення інформації на місці у схемі задіяно LCD-дисплей 1602 (U4), який демонструє поточні значення температури, вологості, а також статус системи (норма / перевищення / тривога). Дисплей підключено до ESP32 через паралельний інтерфейс (RS, E, D4-D7), що дозволяє динамічно оновлювати дані у реальному часі.

Окремим компонентом схеми є звуковий пристрій (BUZZER1), підключений до одного з GPIO-виводів ESP32. Його функція подавати звуковий сигнал у ситуаціях, коли рівні температури чи вологості перевищують допустимі норми. Це допомагає оперативно привернути увагу персоналу, навіть якщо дисплей чи мобільний додаток не переглядаються.

Додатково, у схемі можуть бути передбачені світлодіоди для індикації стану системи: звичайний режим роботи, попереджувальний режим або аварійна ситуація. Це покращує наочність та зручність користування пристроєм у реальних умовах експлуатації.

Розроблена схема забезпечує повний цикл моніторингу: заміри параметрів, їх обробку, локальне відображення, подачу сигналу про відхилення та передачу даних на зовнішній сервер. ESP32 служить центральним елементом, що об'єднує усі складові у єдину систему контролю умов зберігання медикаментів та вакцин.

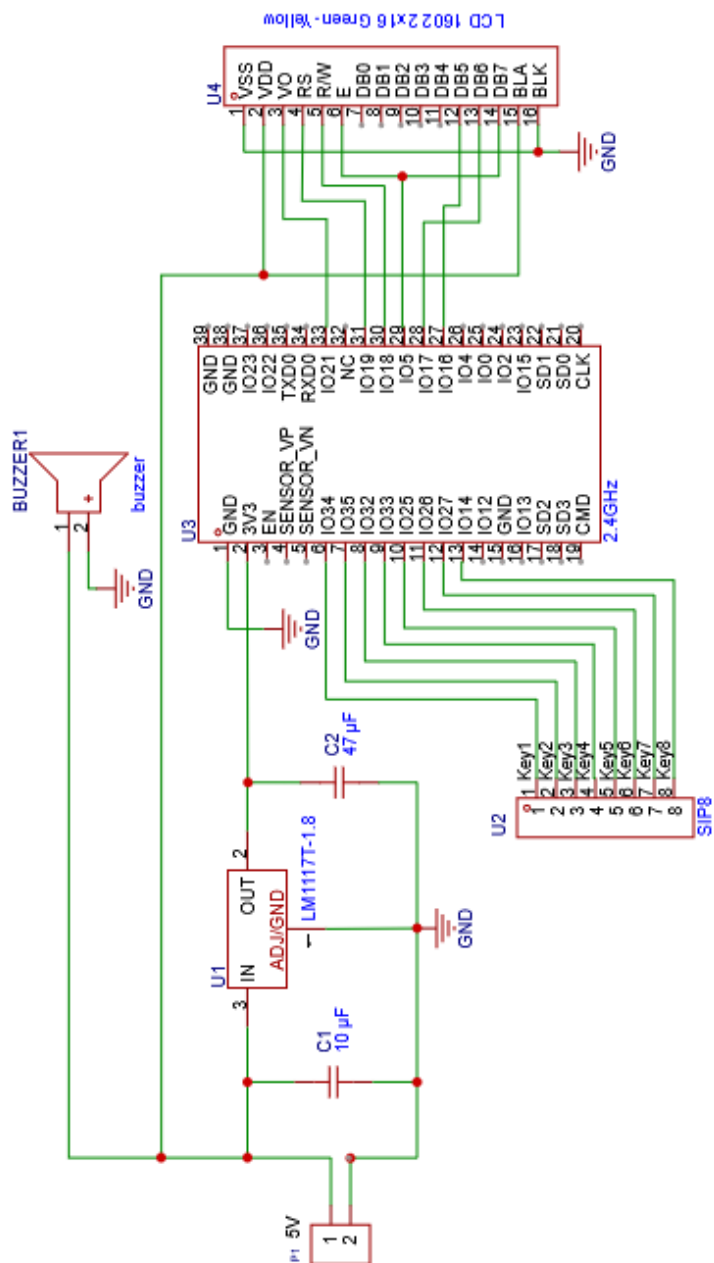


Рисунок 2.2 – Схема електрична клієнта пристрою

2.4 Вибір апаратних компонентів для клієнта пристрою

Беручи до уваги запроєктовану архітектуру апаратно-програмного комплексу, призначеного для моніторингу умов зберігання лікарських засобів та вакцин, що базується на мікроконтролері ESP32, а також враховуючи створену електричну принципову схему клієнтського обладнання, було складено перелік

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

основних електронних складових та модулів, яких потребує втілення даної системи:

- мікроконтролер;
- датчики температури та вологості;
- датчик температури (медичний контроль середовища);
- LCD-дисплей або OLED-індикатор;
- модуль бездротової передачі даних;
- звуковий або світловий індикатор тривоги;
- стабілізатор напруги;
- допоміжні елементи (резистори, конденсатори, плата живлення)

У процесі розробки клієнтського пристрою системи контролю умов зберігання медикаментів і вакцин було обрано мікроконтролер ESP32 (рис. 2.3), оскільки він є оптимальним рішенням для IoT-систем, що потребують збору даних із датчиків, їх обробки та передачі в хмарні сервіси.



Рисунок 2.3 – Мікроконтролер ESP32 [22]

Мікроконтролер ESP32 виступає як ядро обчислень у цій системі, керуючи функціонуванням усіх периферійних сенсорів та актуаторів, що до нього підключені. Основний обов’язок чіпа полягає у циклічному зборі показників із

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

датчиків температури й вологості, їхній попередній аналіз, а потім відправка зібраної інформації до зовнішнього модуля моніторингу.

Завдяки інтегрованому модулю Wi-Fi, ESP32 здатний безпосередньо підключатися до локальних або глобальних мереж, усуваючи потребу у використанні будь-яких додаткових комунікаційних апаратних засобів. Це суттєво спрощує загальну структуру системи та зменшує загальні витрати.

Особливої уваги заслуговує можливість застосування захищених протоколів обміну даними, зокрема TLS/SSL, що робить ESP32 придатним для інтеграції у медичні комплекси, де збереження конфіденційності даних від неавторизованого доступу є пріоритетним. Ба більше, цей мікроконтролер володіє достатнім рівнем продуктивності при низькому споживанні енергії, що гарантує надійну роботу системи протягом тривалого часу. Також ESP32 підтримує взаємодію з великою кількістю зовнішніх компонентів, що надає легкість у майбутньому масштабуванні функціоналу системи.

Важливою перевагою ESP32 є його здатність до багатозадачного режиму, що дозволяє одночасно виконувати кілька процесів, як-от збір даних із сенсорів, їхнє опрацювання та надсилання звітів через MQTT. Це підвищує загальну швидкість роботи системи і забезпечує оперативну реакцію на будь-які зміни умов оточуючого середовища.

На додачу, ESP32 має вбудовану FLASH-пам'ять, яка зберігає конфігурації та службові дані навіть після повного відключення живлення. Завдяки широкій підтримці програмних бібліотек та розвинених середовищ розробки, цей чіп стає зручною платформою для створення рішень у сфері Інтернету Речей (IoT) для спостереження та віддаленого керування.

Для фіксації показників довкілля залучається сенсор DHT22 (рис. 2.4), який надає цифрові значення як температури, так і відносної вологості повітря.

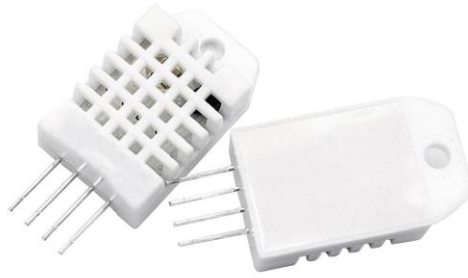


Рисунок 2.4 – Датчик температури та вологості DHT22 [15]

Цей сенсор виступає незамінним компонентом системи, адже саме рівні температури та вологості диктують належні умови для збереження вакцин і лікарських засобів. Навіть мінімальні зсуви від встановлених стандартів здатні спричинити зниження їхньої дієвості або повне зіпсуття.

DHT22 надає інформацію у цифровій формі, що усуває ризик деградації точності під час передачі сигналу та спрощує підключення до мікроконтролера ESP32.

Аби посилити точність моніторингу температурного режиму, додатково залучається цифровий датчик DS18B20 (рис. 2.5), який гарантує високу незмінність показників із мінімальною похибкою.

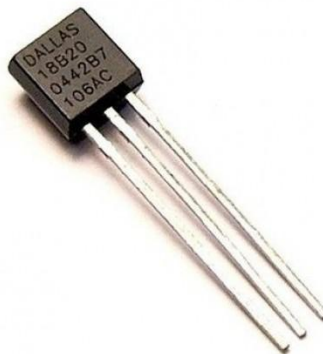


Рисунок 2.5 – Датчик температури DS18B20 [21]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Перетворювач функціонує згідно з протоколом OneWire, завдяки чому існує можливість підключення низки датчиків до однієї цифрової роз'єму ESP32. Це відкриває шлях до втілення багатоточкового моніторингу температур, як-от у різних камерах охолоджувального устаткування чи складських приміщеннях.

Оскільки DS18B20 вирізняється значною точністю та швидкою реакцією, його активно застосовують у системах, де критично важливим є підтримання незмінного температурного режиму.

Для забезпечення видимості поточного стану системи задіяно дисплей LCD 1602 або екран OLED (рис. 2.6), який гарантує наочний нагляд за показниками безпосередньо в момент їх зміни.



Рисунок 2.6 – LCD 1602 дисплей [26]

Екран демонструє провідні показники: рівень тепла, вологість повітря, а також поточний стан устаткування (стандарт, сигнал тривоги чи критична

помилка). Завдяки цьому працівники можуть оперативно зрозуміти ситуацію з умовами зберігання, не вдаючись до допоміжних приладів.

Якщо встановлено OLED-екран, тоді з'являється можливість надавати більш деталізовану інформацію, включно із візуалізацією динаміки температури у вигляді графіків та доступом до архіву зібраних даних.

Щоб можна було негайно відреагувати на значні відступи від заданих параметрів, передбачено використання аудіосигналізації (бузера) або світлової індикації (рис. 2.7).

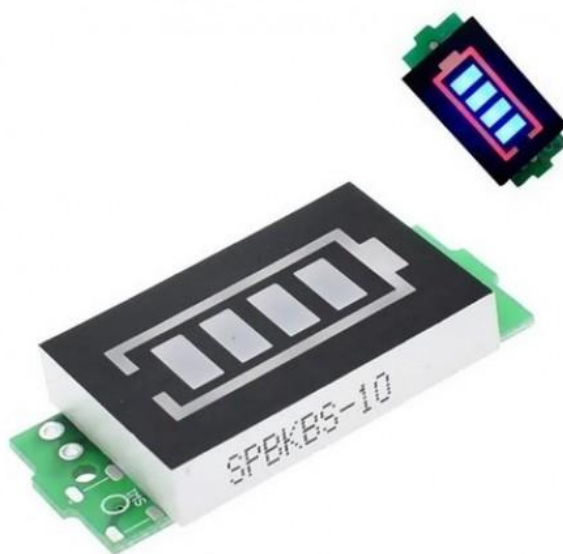


Рисунок 2.7 – П'єзобузер або LED-індикатор [35]

Ця складова спрацьовує, коли показники температури чи вологості виходять за встановлені межі. Приміром, якщо температура підніметься вище заданого діапазону зберігання, апаратура автоматично подає звуковий сигнал тривоги.

Звукове сповіщення дає змогу миттєво привернути увагу відповідальних осіб, навіть якщо вони не дивляться на екран чи не використовують мобільний додаток, що суттєво покращує загальну захищеність системи.

Для підтримання рівномірного живлення усіх вузлів застосовується стабілізатор напруги LM1117-3.3 (рис. 2.8), котрий трансформує вхідні 5В у незмінні 3.3В.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

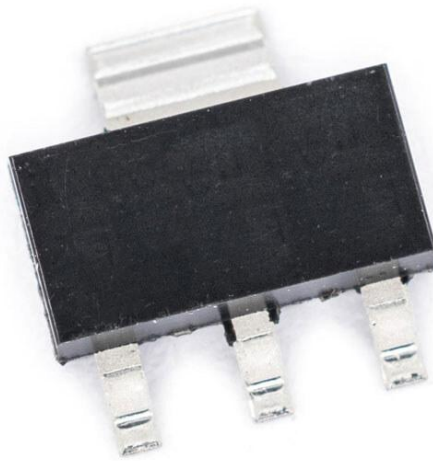


Рисунок 2.8 – Стабілізатор напруги LM1117-3.3 [20]

Безперебійне електропостачання – річ надзвичайно важлива, адже ESP32 та датчики дуже тонко реагують на будь-які стрибки напруги. Навіть недовгі просідання можуть спричинити некоректні показники або повне вимкнення апаратури.

Встановлення розв'язувальних конденсаторів як на вході, так і на виході стабілізатора дає змогу додатково прибрати небажані шуми та значно зміцнити загальну роботу всього механізму.

До супутніх елементів конструкції відносять підтягувальні резистори, необхідні для стабілізації ліній цифрового обміну даними, елементи для придушення перешкод (конденсатори), а також макетна плата чи друкована плата (PCB), які гарантують міцну взаємозв'язок усіх частин у функціональний вузол.

Окрім того, можуть бути задіяні клемні блоки для приєднання сенсорів, кабелі електроживлення та плати захисту від раптових стрибків напруги, що у свою чергу збільшує стійкість роботи та термін служби виробу.

2.5 Визначення вартості компонентів клієнта пристрою

Сформувавши кошторис апаратної частини клієнтського пристрою означає підсумувати загальну ціну всіх фізичних елементів, задіяних у створенні системи

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

моніторингу умов зберігання лікарських засобів та вакцин, яка базується на мікроконтролері ESP32. В апаратному рішенні задіяні такі складові: сам модуль ESP32, сенсор кліматичних показників DHT22 (або його еквівалент), термодатчик DS18B20, необхідний для високоточного контролю медичних нормативів, дисплей типу LCD 1602 чи OLED-екран, регулятор напруги LM1117-3.3, інтегрований модуль бездротового зв'язку (уже присутній у ESP32), пристрій сповіщення (звуковий або світловий), а також другорядні елементи (резистивні елементи, конденсатори, основа для кріплення та з'єднувальні провідники). Перелік вартостей цих частин клієнта відображено у Таблиці 2.1.

При відборі елементів до уваги бралися такі аспекти: наявність у вільному продажі, гарантована працездатність, сумісність із функціоналом ESP32 та показники енергоспоживання. Застосування бюджетних, але цілком робочих модулів дає змогу зберегти стабільність функціонування системи, уникнувши суттєвого зростання її кінцевої вартості.

Таким чином, після детального розгляду вартості обраних апаратних складників, було визначено, що загальна ціна цього апаратно-програмного комплексу не перевищує позначки у 495 гривень. Це свідчить про економічну обґрунтованість вибору з огляду на можливості системи, її точність у вимірюванні даних, а також перспективу включення до складу кіберфізичних рішень.

Таблиця 2.2 – Вартість компонентів клієнта пристрою

№	Назва компоненту	Вартість, грн
1	Мікроконтролер ESP32 ESP-WROOM-32 (Wi-Fi + Bluetooth)	230,00
2	Датчик температури та вологості DHT22	80,00
3	Датчик температури DS18B20	35,00
4	LCD дисплей 1602	55,00
5	П'єзобузер / світлодіодний індикатор	20,00
6	Стабілізатор напруги LM1117-3.3	50,00
7	Конденсатори, резистори	25,00
Разом 495,00 грн		

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ

Арк.
37

2.6 Висновки до другого розділу

У цій частині ми зосередилися на аспектах розробки апаратно-програмного комплексу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин на основі ESP32. Було виділено вирішальні потреби системи: постійний контроль вологості та температурних показників, можливість оперативного виявлення порушень встановлених параметрів, забезпечення надсилання зібраної інформації до хмарного сховища, а також генерація повідомлень у ситуаціях, коли умови зберігання стають критичними.

Описано структуру системи, яка складається з клієнта пристрою на базі ESP32, хмарного MQTT-брокера та клієнта моніторингу (Node-RED або веб-інтерфейсу). Розглянуто функції ESP32 як основного елемента збору та обробки даних із датчиків, а також передачі інформації через Wi-Fi.

Також визначено функції MQTT-брокера як посередника для обміну даними між компонентами системи в реальному часі. Виконано оцінку апаратних компонентів і їх вартості. Встановлено, що загальна вартість пристрою не перевищує 500 грн, що робить запропоноване рішення економічно доцільним та ефективним для практичного використання.

Крім того, було враховано вимоги до енергоефективності та стабільності роботи системи в умовах тривалої експлуатації, що є особливо важливим для медичних закладів і аптечних складів. Передбачено можливість подальшого масштабування системи шляхом підключення додаткових датчиків або розширення функціоналу програмної частини без суттєвих змін архітектури.

Також передбачено можливість інтеграції системи з іншими інформаційними сервісами для автоматизації обліку та контролю умов зберігання. Це дозволяє підвищити загальну надійність моніторингу та зменшити ризик втрати або псування медичних препаратів у разі відхилення параметрів від норми. Система може бути адаптована під різні сценарії використання залежно від вимог конкретного об'єкта.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ МЕДИКАМЕНТІВ ТА ВАКЦИН

3.1 Налаштування хмарного сервісу для обміну даними між пристроями

Зважаючи на поставлені вимоги, розроблений програмно-апаратний комплекс зобов'язаний гарантувати невідомий нагляд за рівнем температури та вологості, фіксацію хронології знятих показників, а також негайне інформування користувача, якщо ці параметри вийдуть за межі дозволених норм. Задля втілення цих можливостей потрібно налагодити сталий зв'язок між апаратною частиною на основі ESP32 та системою відображення даних і контролю, яку розгорнуто у середовищі Node-RED.

Аби дані могли безперешкодно передаватися між елементами системи, незважаючи на їхнє фізичне розташування, було запроваджено хмарний механізм обміну повідомленнями. Як найвдаліший спосіб для цього обрано протокол MQTT, що активно застосовується в системах інтернету речей (IoT) завдяки його невибагливості, стійкості та невеликим вимогам до пропускну здатності мережі

У цій конфігурації як MQTT-клієнти виступають і ESP32, і середовище Node-RED, які обмінюються інформацією через центральний вузол – MQTT-брокер. Щоб спростити процес і не займатися розгортанням власного серверного рішення, задіяно хмарний сервіс під назвою HiveMQ Cloud.

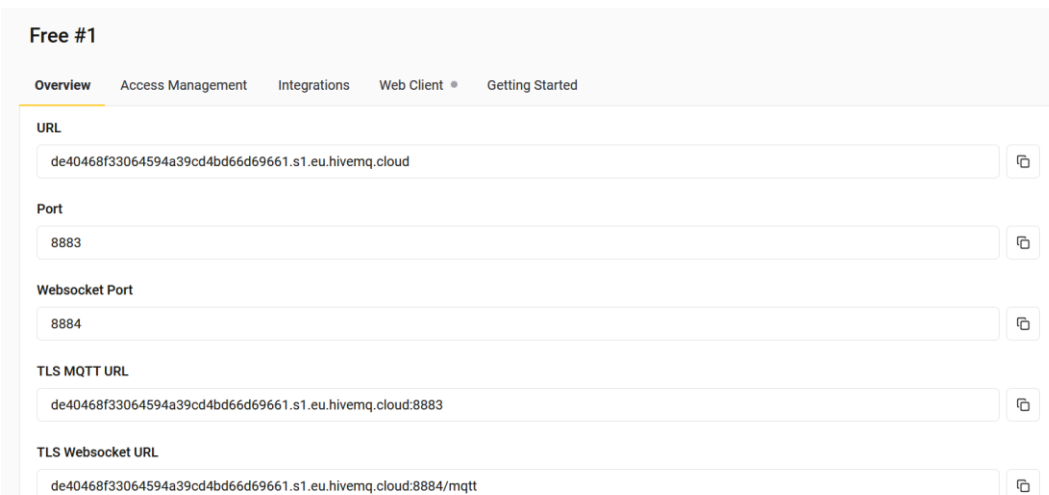
Щоб налаштувати цей хмарний брокер, користувачеві слід завітати на офіційний ресурс HiveMQ Cloud, пройти процес реєстрації, після чого йому відкриється доступ до керуючої панелі. Там необхідно ініціювати створення нового кластера, який слугуватиме MQTT-брокером для системи спостереження. На етапі створення кластера було визначено його ім'я, обрано географічний регіон для розміщення сервера (у даному випадку - Європа), а також схвалено використання безкоштовного тарифного плану (Free Tier).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Після створення брокера користувачу надаються параметри підключення, необхідні для роботи системи, зокрема адреса сервера (URL), порт для захищеного з'єднання (8883), а також ім'я користувача і пароль для авторизації.

Отримані параметри були використані для підключення мікроконтролера ESP32 та середовища Node-RED до MQTT-брокера. Обмін даними здійснюється через визначені топіки, серед яких temperature для передачі значень температури, humidity для передачі значень вологості та alert для формування повідомлень про перевищення допустимих меж.

Використання хмарного брокера HiveMQ забезпечило надійний обмін даними між компонентами системи в режимі реального часу та створило основу для подальшої реалізації функцій моніторингу і сповіщення. Параметри створеного MQTT-брокера наведено на рисунку 3.1.



The image shows a screenshot of the HiveMQ 'Free #1' configuration page. The page has a navigation bar with tabs: Overview, Access Management, Integrations, Web Client (selected), and Getting Started. Below the navigation bar, there are several input fields for configuration parameters, each with a copy icon to its right:

- URL:** de40468f33064594a39cd4bd66d69661.s1.eu.hivemq.cloud
- Port:** 8883
- Websocket Port:** 8884
- TLS MQTT URL:** de40468f33064594a39cd4bd66d69661.s1.eu.hivemq.cloud:8883
- TLS Websocket URL:** de40468f33064594a39cd4bd66d69661.s1.eu.hivemq.cloud:8884/mqtt

Рисунок 3.1 – Створений кластер хмарного брокера у HIVEMQ

Крім того, у налаштуваннях брокера передбачена можливість керування з'єднаннями клієнтів, перегляду журналу активності та контролю їх стану у режимі реального часу. Використання HiveMQ Cloud дозволяє відмовитися від розгортання власного локального сервера, що значно спрощує реалізацію системи моніторингу умов зберігання медикаментів і вакцин, забезпечує її масштабованість та надає доступ до даних з будь-якого місця за наявності інтернет-з'єднання.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Після створення хмарного MQTT-брокера на платформі HiveMQ було виконано налаштування модуля керування доступом (Access Management), що дозволяє визначати, які клієнти мають право підключатися до брокера та обмінюватися повідомленнями через відповідні топіки (рис. 3.2). У межах цього налаштування було створено обліковий запис користувача з відповідними параметрами автентифікації (ім'я користувача та пароль), який використовується як на стороні мікроконтролера ESP32, так і у середовищі Node-RED для забезпечення захищеного підключення до брокера (рис. 3.3, 3.4).

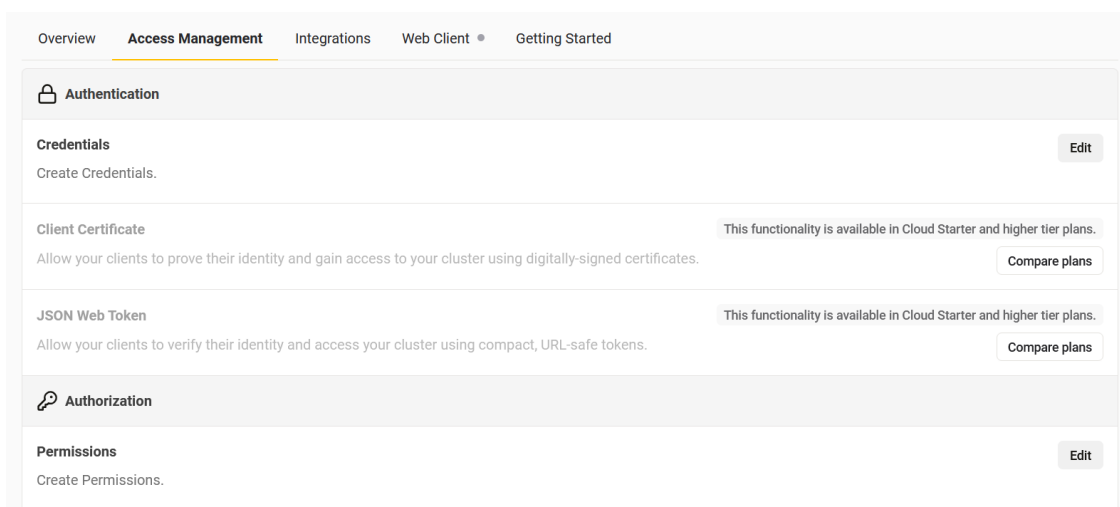


Рисунок 3.2 – Керування політикою доступу

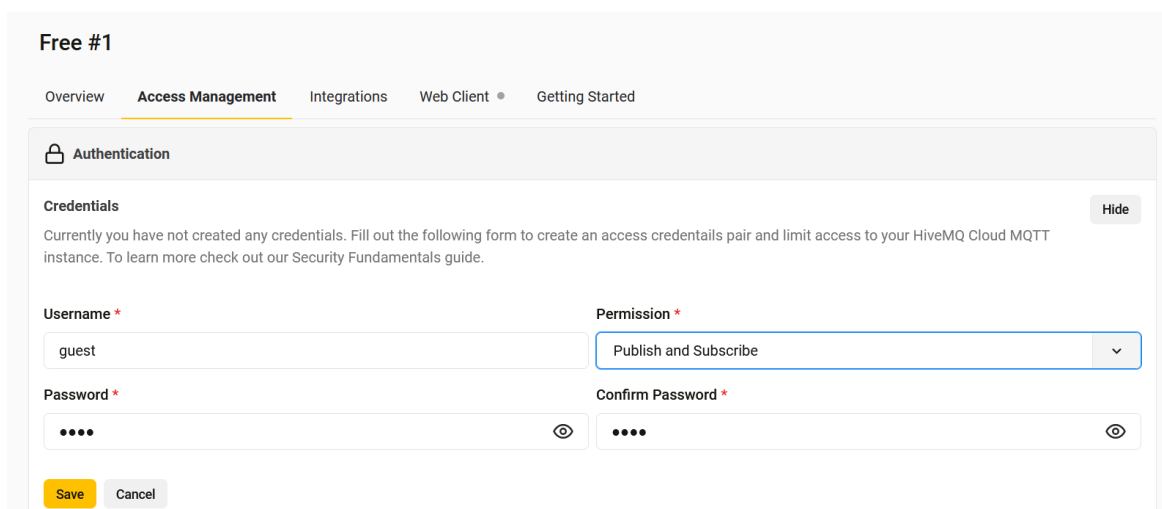


Рисунок 3.3 – Створення користувача та налаштування його параметрів

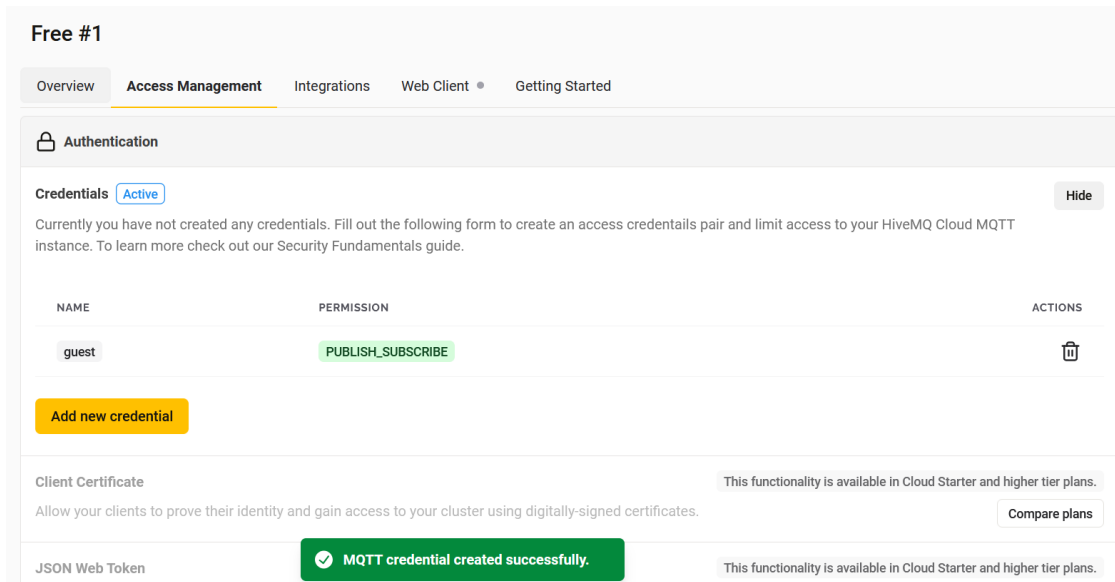


Рисунок 3.4 – Створений користувач у HIVEMQ

3.2 Реалізація клієнта керування

У запропонованій архітектурі задіяно два основоположних компоненти, що працюють як MQTT-клієнти: клієнт, асоційований із фізичним пристроєм, та клієнт, відповідальний за управління. Обмін інформацією між цими клієнтами реалізовано через хмарний брокер. Таке рішення гарантує неперервний зв'язок між апаратним модулем системи та інтерфейсом користувача, незважаючи на їх фізичне рознесення.

Функції моніторингу експлуатаційних показників, опрацювання вхідної інформації та генерації оповіщень виконує середовище Node-RED, яке виступає в ролі клієнта керування. Саме Node-RED приймає інформацію, що надходить від клієнта пристрою, здійснює її аналіз та візуалізує результат у прийнятній для оператора формі. Окрім того, він відповідає за формування сповіщень, коли фіксується вихід показників температури чи вологості за межі встановлених лімітів.

На етапі первинного налаштування в середовищі Node-RED було інтегровано низку додаткових модулів (вузлів), важливих для реалізації запланованої логіки роботи системи. До них належать вузли `ui_table`, `mail` та `dashboard`. Зокрема, `ui_table` дав змогу структурувати та наочно представити

історію зібраних вимірювань у форматі таблиці. Вузол mail забезпечив автоматизацію процесу надсилання електронних повідомлень користувачу у відповідь на фіксацію аномальних відхилень параметрів. Нарешті, 'dashboard' став фундаментом для створення активного інтерфейсу, який відображає актуальні показники температури та вологості у динамічному режимі (рис 3.5).

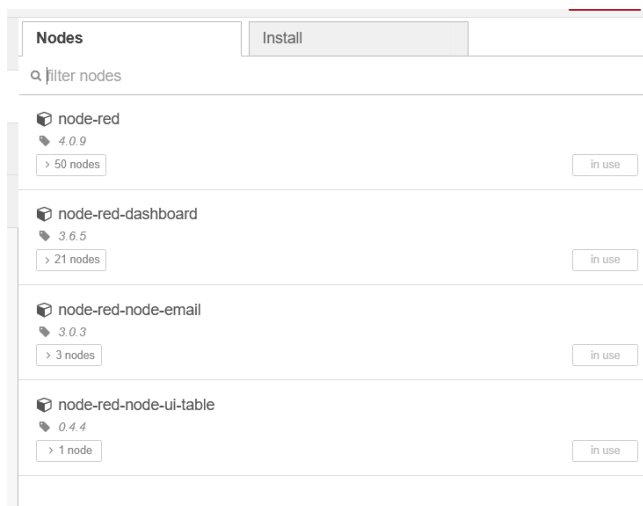


Рисунок 3.5 – Встановлені вузли у Node-RED

Наступною стадією стало приєднання та валідація з розгорнутим д'ятковим посередником MQTT, а саме HIVEMQ. З цією метою було впроваджено вихідний вузол MQTT, а також зареєстровано новий брокер (рис. 3.6).

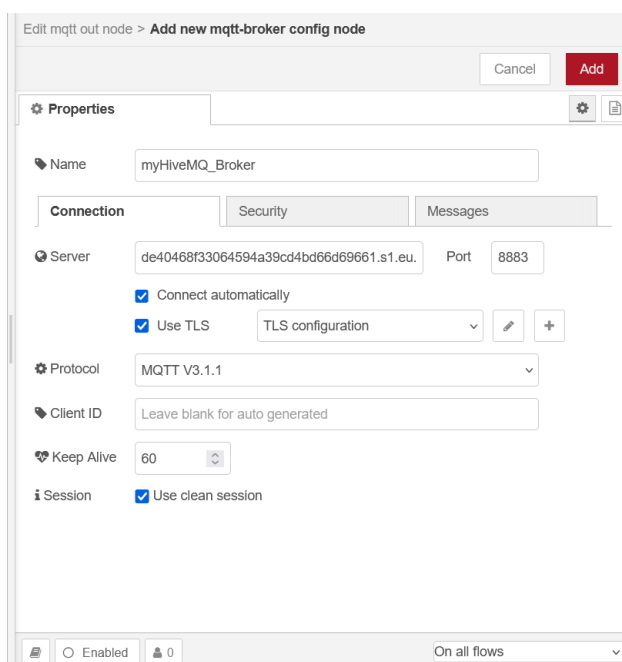


Рисунок 3.6 – Створення брокера у NODE-RED

При налаштуванні брокера було встановлено параметри, отримані від хмарного брокера HiveMQ. Зокрема в якості адреси сервера було вказано `de40468f33064594a39cd4bd66d69661.s1.eu.hivemq.cloud`, а також порт 8883. Також активовано опції Use TLS та автоматичного підключення.

Також у вкладці Security було обрано користувача, що був створений у HIVEMQ брокері (рис. 3.7).

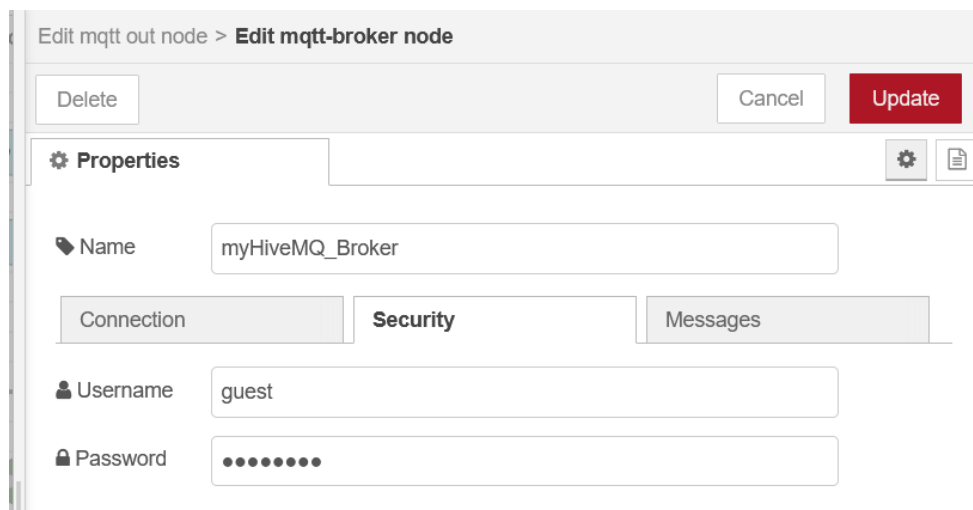


Рисунок 3.7 – Налаштування параметрів безпеки

Після цього було протестовано комунікацію клієнта керування із хмарним брокером HIVEMQ. Для цього було додано 4 вузли: timestamp – для активації сценарію, MQTT out вузол – здійснює публікацію у тему test/topic часової мітки, MQTT in вузол – здійснює підписку на тему test/topic (отримує повідомлення) і вузол debug – для виведення повідомлення (рис. 3.8).

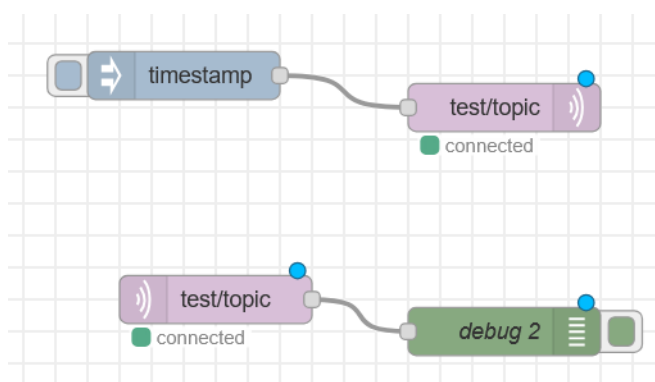


Рисунок 3.8 – Тестування взаємодії клієнта керування із хмарним брокером

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

```
24.05.2025, 15:00:09 node: debug 2
test/topic : msg.payload : number
1748088009542
```

Рисунок 3.9 – Отримне повідомлення

Також було використано MQTT Explorer – безкоштовну GUI-програма, яка дозволяє бачити всі топіки і повідомлення в реальному часі (3.10).

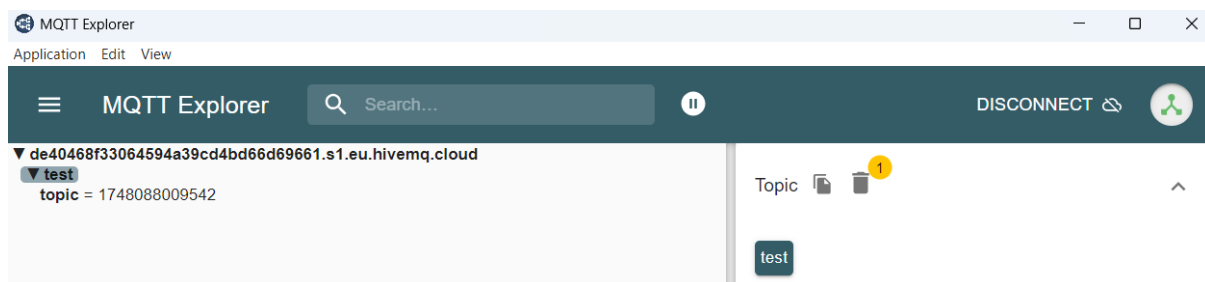


Рисунок 3.10 – Перехоплене повідомлення у тему test/topic у MQTT Explorer

По проходженні успішних перевірок зв'язку із MQTT-посередником, були створені інструкції (сценарії) в середовищі Node-RED, призначені для системи нагляду та урядування умовами зберігання фармацевтичних засобів. Потік Node-RED, візуалізований на рисунку 3.11, втілює алгоритм опрацювання інформації, базований на мікроконтролері ESP32 та посереднику HiveMQ. Ключовою задачею розробки є надання можливості віддаленого нагляду за доступом до сховища, документування усіх інцидентів у реєстрі та негайне інформування про будь-які порушення встановлених норм безпеки.

У верхній секції потоку розміщено елементи керування, що забезпечують дистанційне розпорядження доступом до місця зберігання лікарських засобів. Елементи керування "Кнопка Відчинити Двері" (Open Door Button) та "Кнопка Зачинити Двері" (Close Door Button) генерують відповідні сигнали. Ці сигнали, проходячи через MQTT-з'єднання "Відкрити Двері" (MQTT Open Door), надсилаються до виконавчого пристрою – електромагнітного замка, інтегрованого

у ESP32. Це дає змогу уповноваженій особі дистанційно вчиняти дії із шафою, що містить медикаменти, – відчиняти або замикати її.

Середина цього сценарію присвячена фіксації усіх подій у рамках системи. Вузол підписки "Реєструвати Події" (Log Events) отримує відомості про поточний стан об'єкта (наприклад, точний час, коли двері були відчинені, чи будь-які зміни у налаштуваннях системи). Отримані повідомлення трансформуються через функціональний модуль "Упакувати Дані" (Wrap data), який упорядковує інформацію для коректного її представлення. Згодом, ці структуровані дані прямують до вузла "Таблиця Журналу Доступу" (Access Log Table), де формується розгорнутий звіт про усі випадки доступу до медикаментів, а також паралельно відображаються у "Журналі Налагодження" (Debug log) для моніторингу працездатності системи у реальному часі.

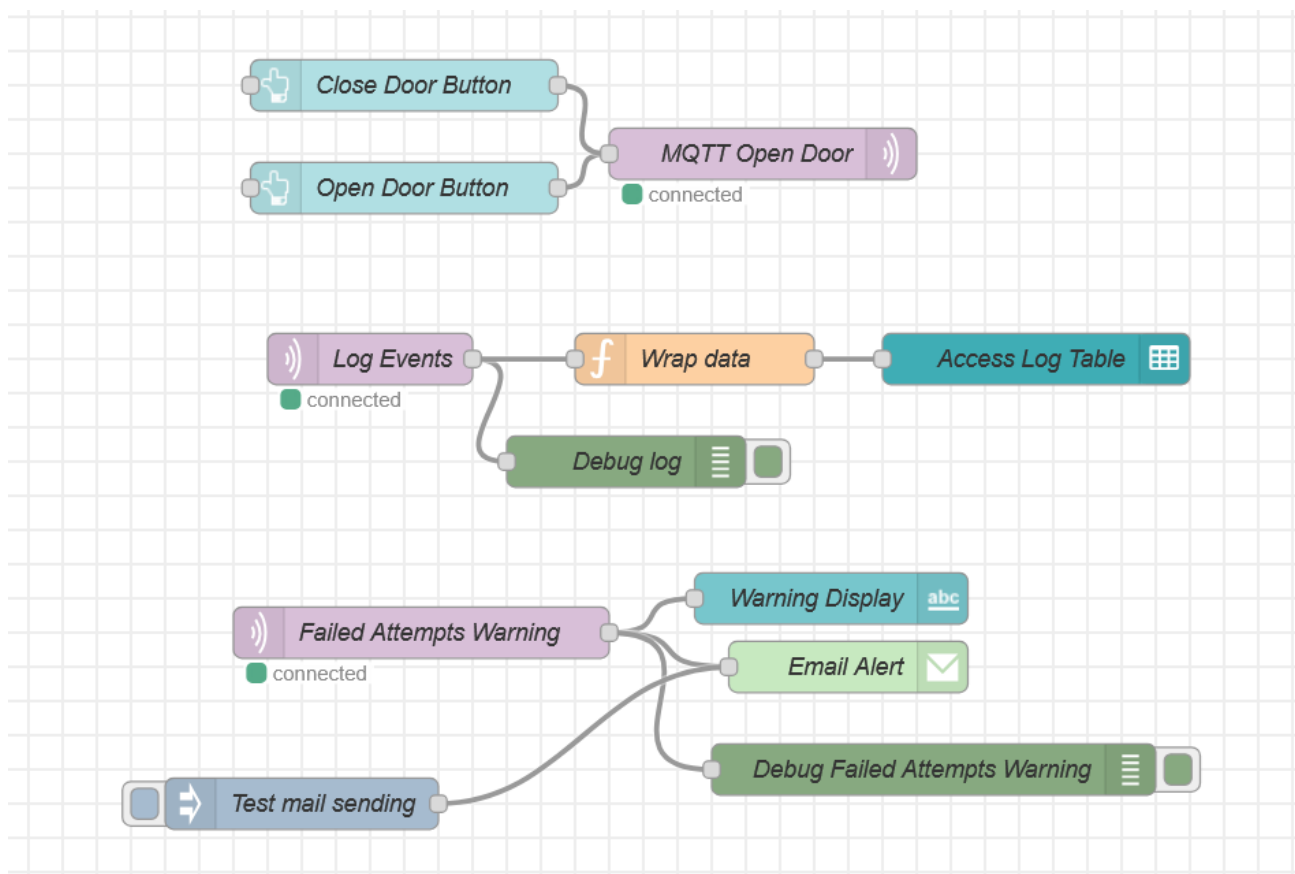


Рисунок 3.11 – Сценарії NODE-RED для клієнта керування

Нижня частина цього потоку розроблена для роботи з надзвичайними ситуаціями та інцидентами, пов'язаними з безпекою. Вузол, що має назву "Failed Attempts Warning", під'єднаний до відповідного топика, куди ESP32 надсилає сигнал, коли відбувається невдала спроба авторизації або несанкціонований доступ до вакцин. Система реагує на такі події у три способи: візуалізує попередження в інтерфейсі через "Warning Display", автоматично надсилає електронного листа адміністратору за допомогою "Email Alert" та реєструє детальну технічну інформацію у вузлі "Debug Failed Attempts Warning".

Для того, щоб переконатися у працездатності системи сповіщень, існує вузол "Test mail sending". Він дає змогу вручну запустити надсилання тестового листа без необхідності створювати справжню подію тривоги. Тепер розглянемо детальніше, як налаштовані головні вузли, використані у цьому сценарії.

Загалом, у цьому потоці Node-RED, який використовується для контролю умов зберігання медикаментів, задіяно три вузли для роботи з протоколом MQTT. Кожен із них забезпечує надійний обмін даними між апаратною складовою та панеллю керування. Як сервер для всіх цих вузлів обрано хмарний брокер HiveMQ, зареєстрований як "myHiveMQ_Broker", який виконує роль центрального елемента для віддаленої взаємодії (рис. 3.12).

Вузол типу "mqtt out" з поміткою "MQTT Open Door" налаштовано на публікацію команд у топик "access/control". Це дає змогу системі відсилати керуючі сигнали на ESP32 для дистанційного відмикання чи замикання камери з медикаментами. Вузол типу "mqtt in", названий "Log Events", підписується на топик "access/log" з рівнем обслуговування QoS 2, що гарантує доставку повідомлень про стан системи. Отримані відомості автоматично приводяться до формату JSON (a parsed JSON object) для подальшої обробки та відображення у журналі подій. Таке налаштування вузлів забезпечує стабільний контроль доступу до препаратів та реєстрацію усіх змін у реальному часі.

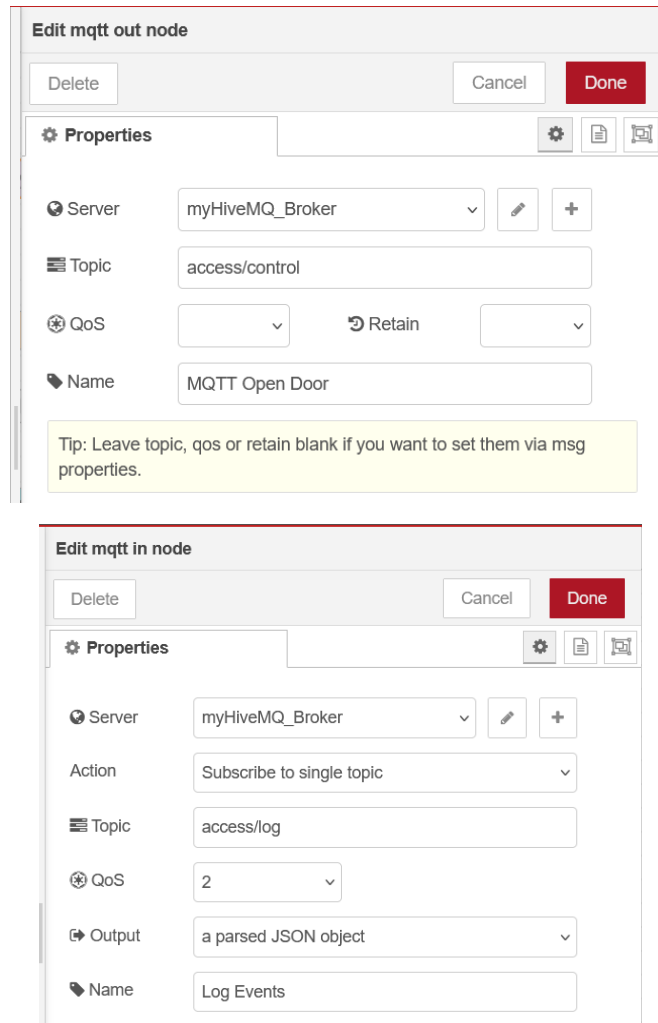


Рисунок 3.12 – Властивості вузлів MQTT (MQTT Open Door та Log Event)

Вузол Access Log Table у потоці Node-RED виконує функцію візуального журналу, який дозволяє адміністратору переглядати історію доступу до камери з медикаментами в реальному часі. Він приймає дані, що надходять від ESP32 через MQTT-топік access/log, і після структурування у блоці Wrap data виводить їх у табличному форматі (рис. 3.13). Конфігурація вузла передбачає відображення трьох основних стовпців: status, time та input, які автоматично отримуються з вхідного JSON-об'єкта. Такий підхід забезпечує зручний моніторинг усіх взаємодій із системою зберігання.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

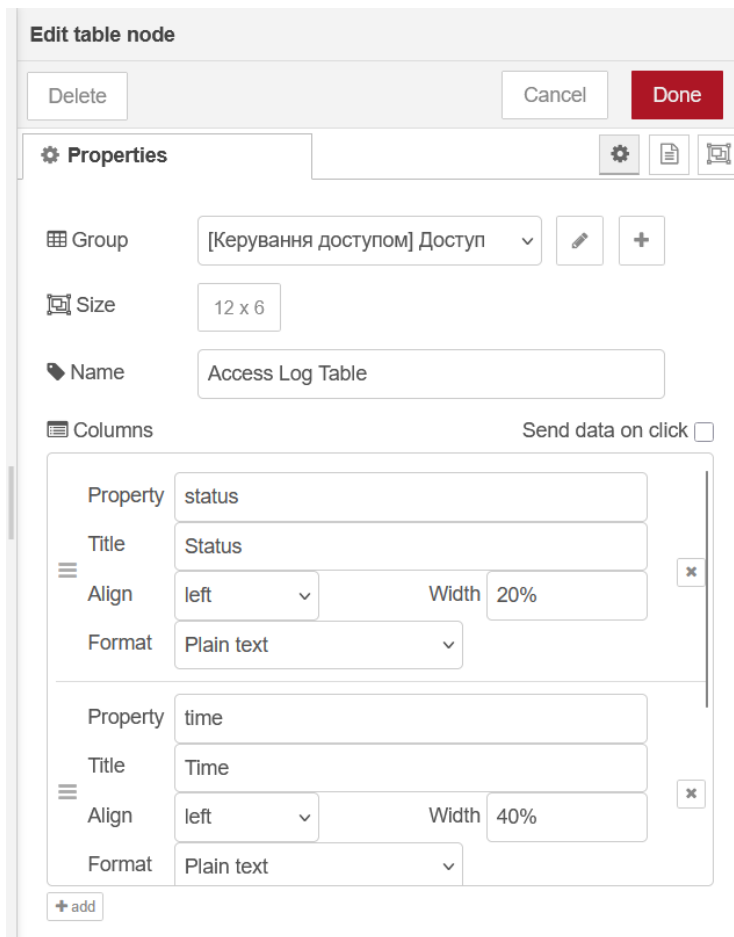


Рисунок 3.13 – Властивості вузла Access Log Table

Окремим ключовим елементом є вузол "Email Alert" типу "send mail", розроблений задля автоматизації інформування про важливі інциденти. Він запускає надсилання електронного листа щоразу, коли реєструється невдала спроба доступу або помилка автентифікації на рівні апаратного забезпечення. Завдяки цьому відповідальні особи можуть миттєво дізнатися про потенційне скомпрометування умов зберігання вакцин чи медичних субстанцій.

При конфігуруванні поштових служб у середовищі Node-RED виникла необхідність задіяти обліковий запис Gmail. Проте, згідно з актуальною політикою безпеки Google, застосування звичайного пароля облікового запису для зовнішніх програм є забороненим. Щоб обійти це обмеження та забезпечити успішний процес автентифікації, було використано спеціально згенерований "Пароль додатка" (App Password), що забезпечує безпечний зв'язок між платформою Node-RED та поштовими серверами Gmail.

Для подолання встановлених захисних бар'єрів у налаштуваннях облікового запису Google, спершу було активовано двофакторну автентифікацію (2FA), що є обов'язковою умовою для генерації таких паролів. Після виконання цієї процедури, у розділі безпеки було згенеровано унікальний 16-значний код, призначений виключно для авторизації сторонніх програм.

Цей "Пароль додатка" був внесений до поля "Password" під час налаштування вузла "Email Alert" у Node-RED (рис. 3.14). У конфігурації вузла зазначено SMTP-сервер "smtp.gmail.com" та порт 587, а логіном (Userid) використано адресу електронної пошти системного адміністратора. Завдяки цьому налаштуванню, система контролю умов зберігання лікарських засобів отримала змогу безперешкодно доставляти небезпечні сповіщення на поштову скриньку адресата.

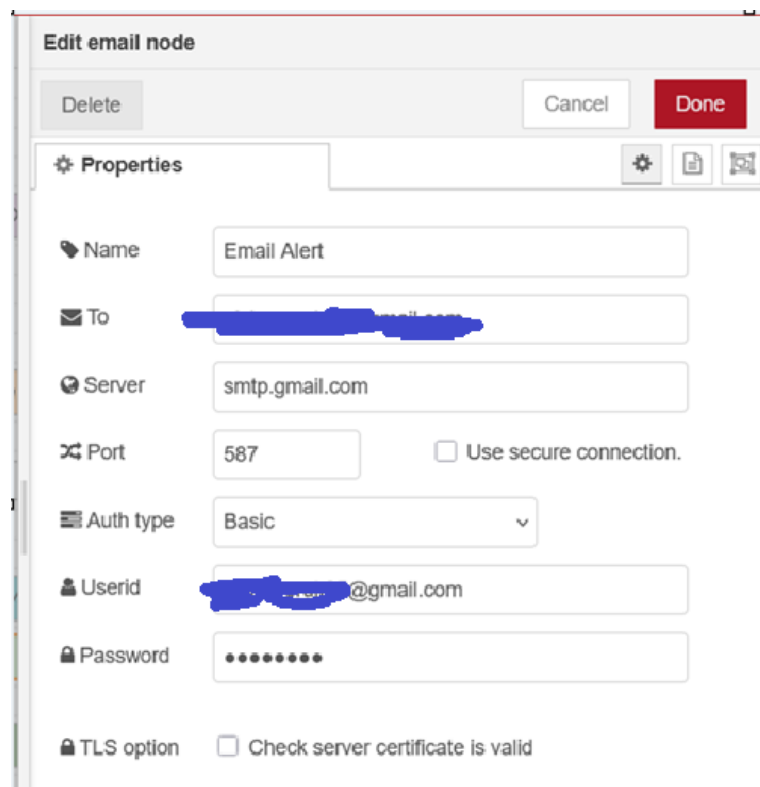


Рисунок 3.14 – Властивості вузла Email Alert

3.3 Реалізація клієнта пристрою

Для для реалізації клієнта пристрою було створено програму для мікроконтролера ESP32, яка забезпечує роботу програмно-апаратного пристрою. Алгоритм роботи апаратно-програмного засобу контролю умов зберігання медикаментів або вакцин із функцією сповіщення наведено на рис. 3.15.

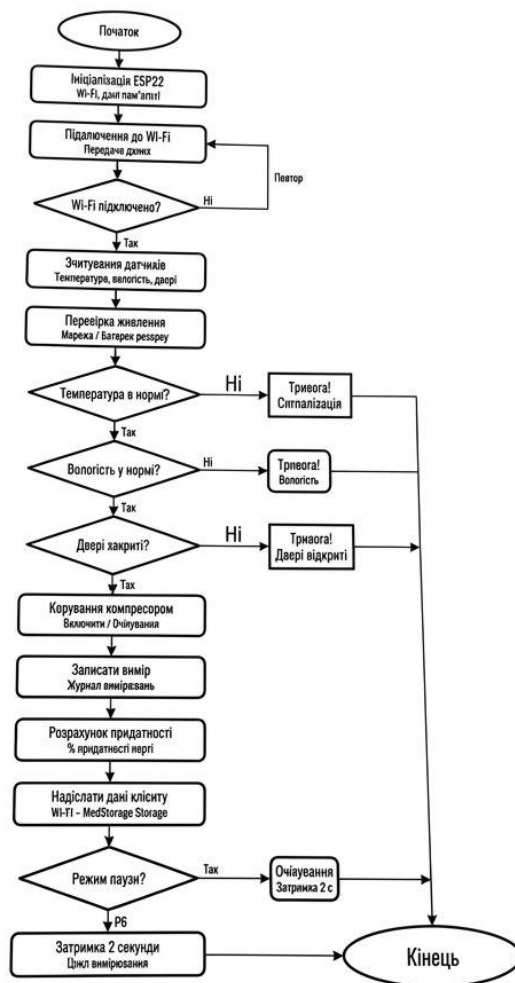


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритму роботи апаратно-програмного засобу контролю доступу та сповіщення системи зберігання медикаментів або вакцин.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Апаратне забезпечення пристрою для контролю умов зберігання лікарських засобів забезпечує взаємодію з користувачами через клавіатурну панель 4x4 та екран LCD, що використовує інтерфейс I2C. В ядрі цієї системи знаходиться мікроконтролер ESP32, який відповідає за обчислення, управління сервоприводом замка сховища, підключення до мережі Wi-Fi та обмін даними з хмарним брокером HiveMQ через захищений канал MQTTs.

На старті виконання програми, розробленої у рамках навчального проєкту, відбувається ініціалізація всіх фізичних модулів: клавіатури, дисплея та сервоприводу, а також задаються початкові конфігурації для MQTT-з'єднання. Застосування компонента WiFiClientSecure дає змогу встановити захищене SSL-з'єднання з брокером, розміщеним у хмарному середовищі. Для встановлення MQTT-зв'язку використовується ідентифікатор "guest", попередньо налаштований у системі управління дозволами брокера.

Після успішного приєднання до мережі, ESP32 реєструється на топіку access/control, щоб отримувати директиви від контролюючого клієнта Node-RED. При отриманні повідомлення "open" активується сервомеханізм, який фізично відмикає замок сховища (поворот тяги на 180 градусів), а команда "close" повертає його у вихідне, заблоковане положення.

Схема взаємодії з персоналом побудована на прийомі введеного коду з клавіатури з наступним підтвердженням натисканням клавіші "#". У разі коректного введення надається доступ до медикаментів, і відповідний JSON-запис про наданий доступ відправляється у топік access/log. Якщо ж пароль невірний, система реєструє факт невдалої спроби. Після трьох послідовних помилок авторизації ESP32 генерує попередження, яке транслюється у топік access/warning, що дає змогу системі Node-RED негайно надіслати сповіщення на електронну пошту відповідального адміністратора.

Окрім стандартної процедури перевірки доступу, передбачена функціональність для уповноважених осіб щодо зміни секретного коду. Якщо оператор натискає клавішу "A", система пропонує ввести новий пароль та потім його повторно підтвердити. Тільки якщо обидва введення ідентичні, новий пароль

записується в систему, а факт зміни облікових даних відображається у MQTT-журналі.

Таким чином, апаратна та програмна складові системи контролю на базі ESP32 не тільки відповідають за фізичне управління елементами системи зберігання вакцин, але й активно беруть участь у MQTT-обміні даними. Це забезпечує можливість централізованого моніторингу безпеки препаратів через платформу Node-RED, підтримуючи функції логування подій, генерацію сповіщень про потенційно небезпечну активність та фіксацію змін у ключах доступу.

3.4 Тестування роботи програмно-апаратного засобу контролю умов зберігання медикаментів та вакцин

Після того, як розробку як програмного, так і апаратного забезпечення було завершено, розпочато проведення всебічного випробування апаратно-програмного комплексу, призначеного для контролю умов зберігання фармацевтичних препаратів та вакцин. Головним завданням цих випробувань було підтвердження функціональності абсолютно всіх складових системи, надійності обробки й надсилання даних, стійкості роботи веб-інтерфейсу, через який здійснюється моніторинг, а також оцінки того, як система реагує на настання позаштатних обставин.

Для здійснення цих випробувань був задіяний клієнтський модуль на базі ESP32, до якого було під'єднано сенсор для вимірювання температури й рівня вологості, також використовувався MQTT-посередник для передачі інформації та програмний інтерфейс моніторингу, оформлений як веб-додаток. Цей комплекс забезпечував безперервне стеження за параметрами оточення та візуалізацію отриманих відомостей негайно.

На першій стадії тестування здійснювалася валідація правильності старту системи й успішності приєднання до мережі Wi-Fi. Щойно подавалося живлення, модуль ESP32 автоматично з'єднувався з локальною мережею та налагоджував

зв'язок із MQTT-брокером. Якщо підключення відбувалося успішно, система переходила у штатний режим функціонування і починала транслювати дані щодо температури та вологості. Відображення інтерфейсу системи контролю проілюстровано на рисунку 3.8.

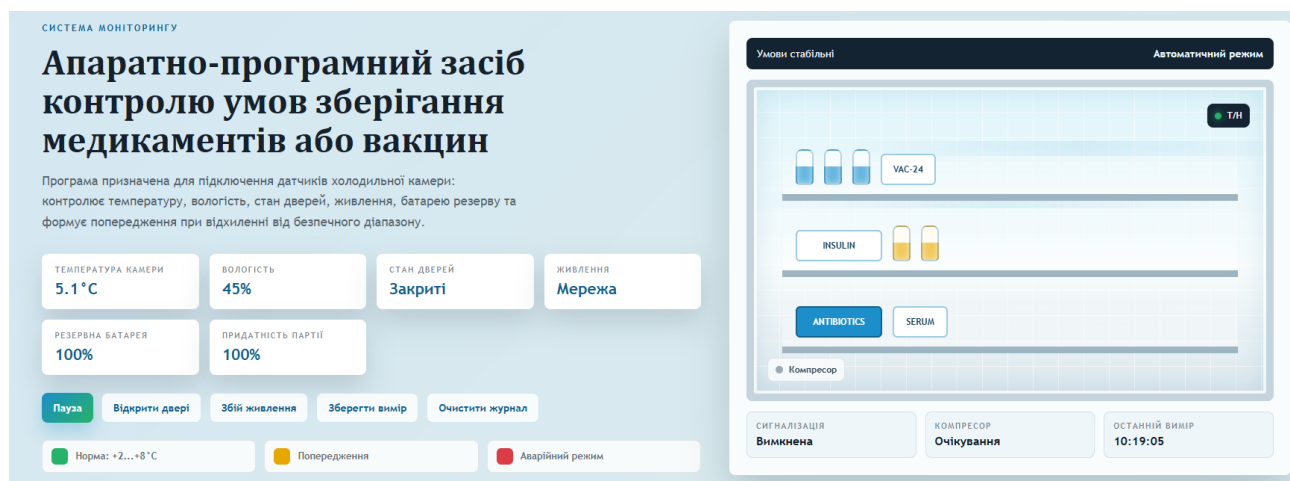


Рисунок 3.16 – Головний інтерфейс системи моніторингу

Головний екран системи демонструє основні характеристики оточуючого середовища. А саме: термальний режим у камері, ступінь зволоження, статус доступу (двері), стан електропостачання, рівень резервної акумуляторної системи, а також загальний робочий статус самої системи. Додатково, інтерфейс користувача обладнано графічною репрезентацією холодильного простору, доповненою індикаторами, що сигналізують про активність окремих модулів. Це дає змогу оператору за мить скласти уявлення про актуальні умови об'єкта, де зберігаються медикаменти та вакцини.

У процесі валідації було проконтрольовано точність роботи сенсорів, відповідальних за вимірювання температури та вологості. Для цього штучно змінювали зовнішні термальні умови, і система відповідно оновлювала свої показання у веб-оболонці. Зібрані дані послідовно надсилалися за допомогою MQTT-комунікаційного протоколу та адекватно відображалися в платформі спостереження.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Підсумки випробувань засвідчили, що система здатна незмінно підтримувати температурні показники у межах визначеного коридору: від +2°C до +8°C, що повністю узгоджується з регламентом, встановленим для зберігання фармацевтичної продукції та імунобіологічних препаратів.

Окрім того, було здійснено перевірку функціональності архіву звітів (журналу вимірювань). Усі зафіксовані дані автоматично вносилися до таблиці журналу, де фіксувалися такі атрибути: момент вимірювання, температурний показник, вологість, статус блокування/відкриття дверей, тип живлення та поточний режим функціонування системи. Вигляд цього журналу представлено на рисунку 3.9.

Журнал вимірювань

ЧАС	ТЕМПЕРАТУРА	ВОЛОГІСТЬ	ДВЕРІ	ЖИВЛЕННЯ	БАТАРЕЯ	СТАН
10:23:26	5.2°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:24	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:22	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:20	5.2°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:18	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:16	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:14	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:12	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:10	5°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:08	5°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:06	5.2°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:04	5°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:02	5.2°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:23:00	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:22:58	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:22:52	5°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:21:52	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма
10:20:52	5.1°C	45%	Закриті	Мережа	100%	Норма

Рисунок 3.17 – Журнал вимірювань системи

Ведення логу дає змогу проводити дослідження динаміки змін певних характеристик середовища за заданий період, а також стежити за появою

нештатних обставин. Усі відомості заносяться в журнал у режимі автомата, без потреби втручання людини.

В нижній секції візуальної частини програми розташовано модуль перевірки функціонування системи. Цей модуль демонструє важливі засади роботи апаратно-програмного комплексу та критерії, необхідні для забезпечення безпечного зберігання лікарських засобів і вакцин.

Механізм перевірки здійснює безперервне дослідження значень температури й рівня вологості, паралельно відстежуючи стан дверних засувок та наявності енергопостачання. Якщо температура виходить за межі дозволених значень, система автоматично генерує сповіщення й ініціює відповідний робочий стан. Це надає можливість оперативно реагувати на коливання умов зберігання та уникнути псування медикаментів.

Крім того, цей механізм охоплює моніторинг форс-мажорних обставин, таких як несанкціоноване відкриття холодильної камери чи припинення подачі первинного живлення. У разі настання подібних інцидентів програма переходить у стан оповіщення та інформує оператора через користувацький інтерфейс. Схема роботи цього модуля контролю представлена на рисунку 3.11.

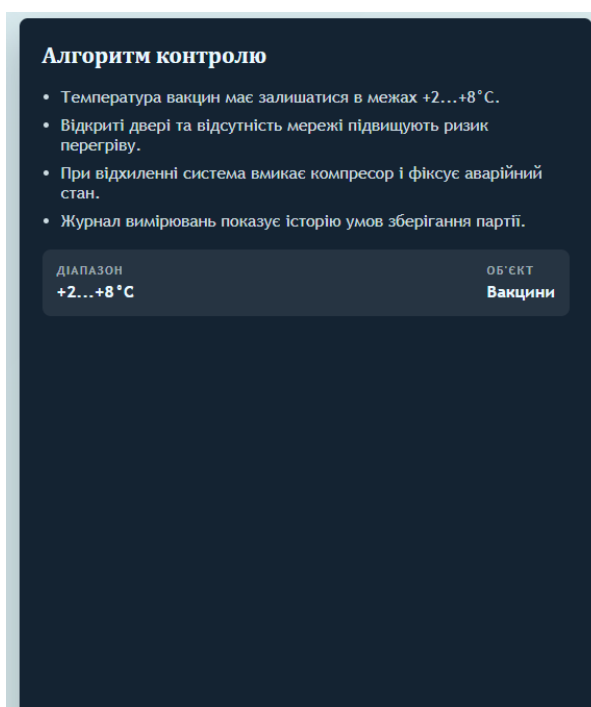


Рисунок 3.18 – Алгоритм контролю роботи системи

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Окрім відображення параметрів у вигляді тексту, система також дає змогу будувати графіки, що показують коливання температури та вологості безпосередньо в процесі роботи. Ці графічні представлення надають можливість візуально спостерігати за тим, як змінюються показники навколишнього середовища, і проводити аналіз функціонування всієї системи за обраний відрізок часу.

Під час етапу випробувань було підтверджено, що графіки будуються правильно, а дані оновлюються коректно. Будь-які показники, отримані від сенсорів, без зволікань надсилалися до веб-інтерфейсу та відображалися на відповідних графіках. Завдяки цьому користувач може оперативно визнавати загальні тенденції змін температури та вологості, а також оперативно помічати будь-які потенційні неспівпадіння з встановленими стандартами. Приклади графіків із зображенням зміни параметрів системи можна побачити на рисунку 3.12.

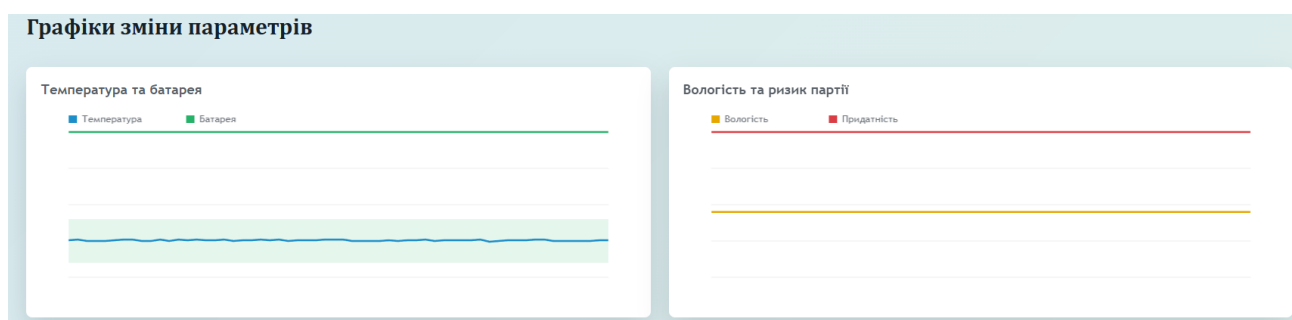


Рисунок 3.19 – Графіки зміни температури та вологості

Окремий контроль було здійснено щодо функціонування складових керування системою. У програмному середовищі передбачено можливості призупинення роботи системи, ініціювання відчинення дверей, симуляції відключення електроенергії, фіксації отриманих показників та обнулення записів у лозі.

Натискання кнопки відчинення дверей спричиняло автоматичну зміну положення дверей та оновлення відповідного стану у візуальному інтерфейсі. У випадку симуляції знеструмлення, система автоматично перемикалася на резервне

джерело живлення, а даний факт фіксувався у системному журналі. Ілюстрація роботи системи у режимі аварійної ситуації представлена на рисунку 3.10.

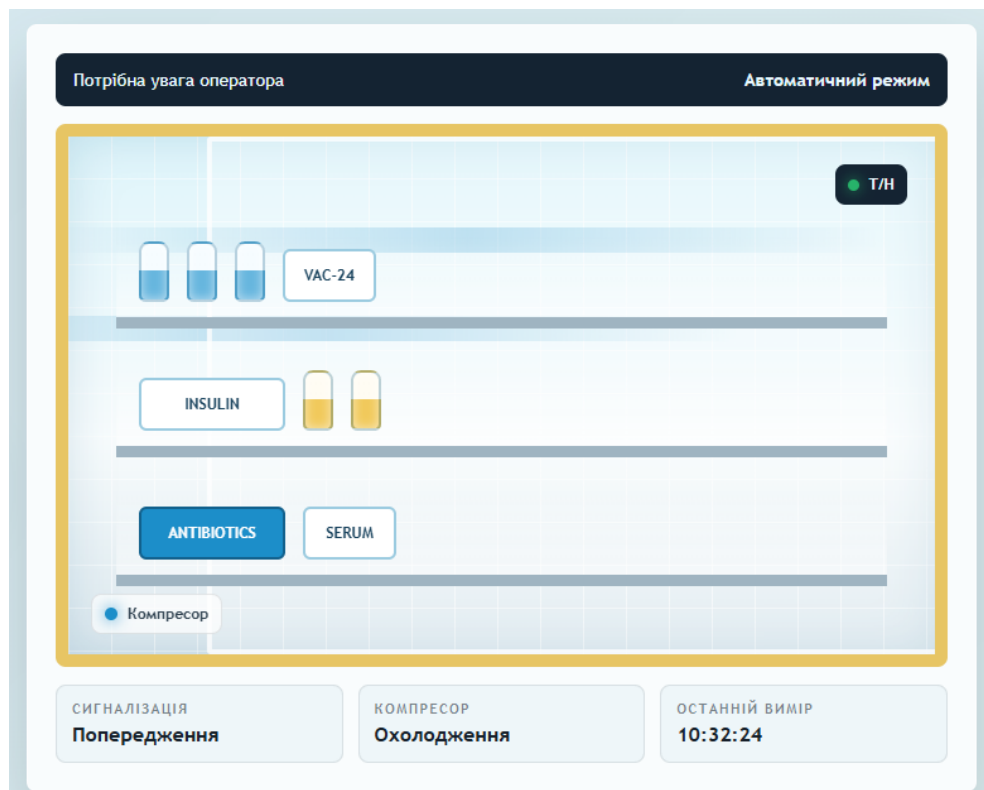


Рисунок 3.20 – Робота системи у режимі попередження

В режимі попередження система автоматично активізувала належну індикацію й сповіщала оператора про настання небезпечної обставини. Коли була перевищена визначена межа температури, колір індикатора стану апаратури змінювався, і генерувалося сповіщення, що вимагало перевірки умов зберігання.

Крім того, була виконана перевірка роботи резервного джерела живлення. У випадку припинення подачі електроенергії з головного джерела, пристрій продовжував функціонувати завдяки акумуляторній батареї. Це дає можливість гарантувати безперебійне спостереження навіть за умов аварійного припинення електропостачання.

Додатково була досліджена стійкість функціонування протоколу MQTT під час обміну даними між ESP32 та системою нагляду. В ході випробувань не зафіксовано жодної втрати інформаційних пакетів чи значних затримок у

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

надсиланні відомостей. Оновлення даних у веб-інтерфейсі відбувалося фактично миттєво після отримання нових показників із сенсорів.

Також було здійснено перевірку працездатності апаратури протягом тривалого періоду. Протягом кількох годин пристрій неухильно здійснював збір та передачу інформації без зависань, втрати зв'язку або збоїв у роботі мікроконтролера. Це засвідчило незмінність функціонування розробленого апаратно-програмного комплексу.

Окрему увагу було приділено тестуванню інтерфейсу взаємодії з користувачем. Веб-застосунок забезпечує комфортне представлення відомостей, зрозуміле управління та швидкий доступ до основних функцій апаратури. Застосування графічного інтерфейсу суттєво спрощує процес нагляду й підвищує зручність експлуатації системи.

Таким чином, результати проведених випробувань підтвердили життєздатність та результативність створеного програмно-апаратного засобу для контролю умов зберігання лікарських засобів та вакцин. Апаратура гарантує неперервний моніторинг параметрів оточення, стабільну передачу даних, автоматичне ведення протоколу подій та вчасне інформування оператора про настання кризових ситуацій. Отримані результати доводять можливість застосування розробленої системи для нагляду за умовами зберігання медикаментів та вакцин у реальних умовах використання. Візуалізація даних значно покращує зручність моніторингу та полегшує аналіз роботи системи. Користувач може оглядати історію змін параметрів, слідкувати за стабільністю роботи холодильного обладнання та оцінювати ефективність підтримання необхідних умов для зберігання медикаментів та вакцин.

3.5 Висновки до третього розділу

На основі виконаного дослідження та практичного втілення було створено та апробовано апаратно-програмний комплекс для нагляду за умовами зберігання лікарських засобів і вакцин, що інтегрує сучасні електронні складники, механізми

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						59
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

бездротової комунікації та вебтехнології для забезпечення постійного контролю за ключовими параметрами середовища. Створена система здійснює моніторинг температури, вологості, статусу дверей холодильної камери та електроживлення, що гарантує підтримання необхідного режиму для збереження медикаментів.

Ядром цієї системи виступає мікроконтролер ESP32, який відповідає за збір та обробку даних з сенсорів, надсилання інформації до хмарного посередника MQTT та взаємодію із клієнтом, що здійснює нагляд. ESP32 забезпечує регулярне опитування датчиків температури та вологості, аналізує отримані показники та формує відповідні звіти про поточний стан.

У процесі функціонування апаратно-програмного рішення відбувається безперервне відстеження умов довкілля. Зібрані відомості про температуру та вологість піддаються аналізу негайно. У разі перевищення встановлених температурних лімітів, система автоматично активує режим сповіщення та генерує повідомлення для користувача. Це дозволяє оперативно реагувати на потенційні порушення умов зберігання медикаментів та запобігати зниженню їхньої ефективності.

Для організації обміну даними між ESP32 та клієнтом нагляду задіяно хмарний MQTT-сервер HiveMQ, що гарантує передачу інформації в режимі реального часу. Застосування протоколу MQTT дає змогу встановити надійний двосторонній зв'язок між мікроконтролером та веб-інтерфейсом без потреби прямого підключення до апарату через локальну мережу. Це значно спрощує створення системи дистанційного моніторингу та відкриває можливість контролювати параметри з будь-якої точки, маючи доступ до Інтернету.

У комплексі функціонують два абоненти MQTT. Перший абонент – це програмне відображення моніторингу, яке відповідає за візуалізацію актуальних показників системи, архівування подій, будування графіків динаміки температури й вологості, а також формування попереджень про небезпечні ситуації. Другий абонент MQTT інтегрований безпосередньо в ESP32 і виконує функцію зчитування даних із сенсорів, пересилання повідомлень на брокер та обробку команд управління.

Для валідації роботи апаратно-програмного засобу використовувався програмний симулятор Wokwi, який надав можливість перевірити функціональність ESP32 та логічні послідовності роботи системи без потреби у фізичній збірці макету. За допомогою Wokwi було змодельовано підключення ESP32 до MQTT-сервера, імітовано роботу датчиків та надсилання даних на веб-інтерфейс нагляду. Це дозволило протестувати коректність обміну даними, стійкість роботи MQTT та правильність інтерпретації інформації в системі.

У веб-інтерфейсі передбачено відображення поточного стану системи в режимі реального часу. Користувач має можливість оглядати показники температури, вологості, стан дверцят, тип електроживлення та активний режим роботи системи. Окрім того, реалізовано звітність по вимірах та діаграми зміни параметрів середовища, що дає змогу проводити аналіз роботи системи у довгостроковій перспективі.

Апаратна та програмна частини створеного комплексу вирізняються високою поступливістю, що дає змогу доповнювати його сенсорами для розширення можливостей. Застосування чипа ESP32 гарантує економне споживання енергії та безперебійне функціонування всього обладнання. Веб-додаток надає можливість комфортно моніторити показники безпосередньо в момент їхнього вимірювання. Протокол MQTT забезпечує плинний та оперативний обмін інформацією між усіма елементами системи. Виконані випробування засвідчили правильність функціонування апарату та його стійкість до навантажень. Завдяки цим характеристикам, систему цілком можна ефективно використовувати для нагляду за станом умов, у яких зберігаються лікарські засоби та імунобіологічні препарати.

Підсумки проведеного дослідження підтвердили ефективність застосування технологій Інтернету Речей (IoT) для розробки систем контролю умов зберігання медикаментів та вакцин. Створений апаратно-програмний комплекс забезпечує безперервне відслідковування параметрів середовища, оперативне сповіщення користувача про будь-які відхилення від заданих норм, а також можливість дистанційного контролю функціонування системи в актуальному часі.

ВИСНОВКИ

Таким чином було розроблено та випробувано апаратно-програмний комплекс для нагляду за умовами зберігання лікарських засобів та вакцинних препаратів. На основі мікроконтролера ESP32 збудована система, яка надає безперервний нагляд за температурою й вологістю, контроль стану дверцят охолоджувального відсіку, перевірку джерела енергопостачання, а також генерує сповіщення про настання надзвичайних подій чи вихід параметрів за межі допустимих норм.

У першому розділі здійснено дослідження існуючих програмно-апаратних рішень для моніторингу умов зберігання медикаментів та вакцин. Проведено аналіз наявних IoT-систем нагляду, апаратних платформ для збору та пересилки інформації, а також актуальних технологій дистанційного контролювання параметрів оточуючого середовища. Зверх того, виконано розбір бездротових засобів передачі даних та хмарних сервісів, що знаходять застосування у системах нагляду за температурою та вологістю.

У другому розділі окреслено найважливіші вимоги до апаратно-програмного комплексу та виконано проектування його архітектури. Зокрема, визначено вимоги щодо реалізації дистанційного моніторингу через протокол MQTT, автоматичного контролю температури та вологості, ведення реєстру подій, формування застережень при виході параметрів за встановлені межі та нагляду за станом живлення системи. Також детально описано структуру апаратно-програмного засобу нагляду за умовами зберігання медикаментів та вакцин, що базується на ESP32, яка включає клієнт пристрою, хмарний MQTT-брокер HiveMQ та клієнт моніторингу Node-RED.

Проаналізовано функціональні можливості ESP32 як центрального вузла системи, що забезпечує зчитування даних з сенсорів, опрацювання отриманої інформації, пересилку даних через MQTT та контроль роботи системи в реальному часі. Окрім цього, розглянуто роль клієнта моніторингу Node-RED як інтерфейсу для централізованого контролю параметрів середовища, реєстрації

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

вимірів, візуалізації графіків змін температури та вологості, а також створення сповіщень про аварійні ситуації.

Особлива увага була приділена функціям оповіщення про небезпечні ситуації, які реалізуються через MQTT-топіки брокера HiveMQ. MQTT-брокер виступає ключовим посередником для передачі повідомлень між усіма складовими системи та гарантує стабільний обмін даними у режимі реального часу.

Також було досліджено апаратні складові системи та проведено оцінку їхньої вартості. З'ясовано, що застосування ESP32, датчика температури та вологості, елементів живлення та допоміжних компонентів дозволяє збудувати бюджетну систему нагляду із достатнім функціоналом та потенціалом подальшого розширення.

У третьому розділі головний акцент було зроблено на практичному втіленні апаратно-програмного комплексу для нагляду за умовами зберігання медикаментів та вакцин. Основний обсяг робіт був присвячений конфігуруванню хмарного середовища для обміну повідомленнями, створенню клієнтів системи, реалізації веб-інтерфейсу моніторингу та проведенню випробувань для підтвердження працездатності розробленого рішення.

На першому етапі облаштовано хмарний MQTT-брокер на базі HiveMQ, який використовується як центральний елемент для пересилання повідомлень між ESP32 та клієнтом моніторингу. Застосування HiveMQ забезпечило стабільний обмін даними у реальному часі, а також можливість дистанційного контролю параметрів через мережу Інтернет.

На другому етапі було реалізовано клієнт моніторингу у середовищі Node-RED. Він надає зручний графічний інтерфейс для перегляду показників температури, вологості, статусу джерел, рівня заряду допоміжної батареї та джерела живлення. Крім того, у Node-RED впроваджено реєстрацію подій, побудову діаграм змін параметрів середовища та генерацію сповіщень про позаштатні ситуації.

Далі створено клієнт пристрою, програмно реалізований у середовищі Wokwi у формі віртуального макета системи на мікроконтролері ESP32. Він відповідає за зчитування даних із сенсорів, надсилання отриманих значень до MQTT-брокера, контроль стану системи та формування повідомлень про перевищення дозволених меж температури чи вологості.

На фінальному етапі було здійснено тестування всієї системи. Під час тестування перевірялася коректність взаємодії між усіма елементами, надійність передачі повідомлень через HiveMQ, правильність відображення параметрів у веб-інтерфейсі та функціональність механізму генерації попереджень у разі аварійних ситуацій. Також було випробувано роботу журналу подій, графічних представлень змін параметрів та функції резервного живлення.

Отримані результати підтвердили функціональність та ефективність розробленого апаратно-програмного комплексу для нагляду за умовами зберігання медикаментів та вакцин. Система забезпечує безперервний моніторинг параметрів оточуючого середовища, оперативне інформування користувача про відхилення від встановлених норм та спроможність дистанційного контролю роботи системи у режимі реального часу.

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Саюн Д. М. Комп'ютерна система дистанційного контролю умов зберігання медикаментів : бакалаврська робота / КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. URL: <https://ela.kpi.ua/items/c60a6f5c-7811-4fda-b077-9835ef05f1f2> (дата звернення: 12.02.2026).

2. Камінецький О. Т. Інтелектуальна система контролю ліків із моніторингом певних показників на основі Інтернету речей : магістерська кваліфікаційна робота / Національний університет «Львівська політехніка», 2023. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/365d0c50-5d95-4745-aaf4-62df01fdbe4c> (дата звернення: 18.02.2026).

3. Камінецький О. Т. Проєкт інформаційної системи контролю температури медичних препаратів : магістерська кваліфікаційна робота / Національний університет «Львівська політехніка», 2022. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/7ecd521d-5c09-4915-9743-65712d410319> (дата звернення: 21.02.2026).

4. МОЗ України. Порядок забезпечення належних умов зберігання, транспортування, приймання та обліку вакцин, анатоксинів та алергену туберкульозного в Україні : наказ №595 від 16.09.2011. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1166-11/ed20110916> (дата звернення: 25.02.2026).

5. Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками. Пам'ятка з питань дотримання належних умов зберігання під час транспортування вакцин та здійснення вхідного контролю якості, 2018. URL: https://www.dls.gov.ua/for_subject/%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D0%BA%D0%B0-%D0%B7-%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%8C-%D0%B4%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D1%85/ (дата звернення: 02.03.2026).

6. Public Health Agency of Canada. National vaccine storage and handling guidelines for immunization providers. Ottawa, 2015. URL:

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

<https://publications.gc.ca/site/eng/9.630033/publication.html> (дата звернення: 05.03.2026).

7. Чернівецький обласний центр контролю та профілактики хвороб. Зберігання та транспортування вакцин, 2024. URL: <https://cv.cdc.gov.ua/article/vaccine/> (дата звернення: 08.03.2026).

8. Gedi E. M. Evaluation of the Storage and Cold Chain Management of Vaccines in the Primary Health Facilities in Arusha City, Northern Tanzania : thesis / University of Nairobi, 2022. URL: <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/161791> (дата звернення: 11.03.2026).

9. Шевченко А. В. Оптимізація біотехнології виробництва вакцин для птахівництва : магістерська робота / Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2024. URL: <https://dglip.nubip.edu.ua/items/6f894ea6-0744-4817-89dc-cc58eebfab94> (дата звернення: 14.03.2026).

10. Бізіля А. С. Технологія виробництва ветеринарної вакцини БЦЖ. Дільниця сушіння продукту : дипломний проєкт / КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. URL: <https://ela.kpi.ua/items/30b1143c-a631-4c10-9527-c09da2e5df16> (дата звернення: 17.03.2026).

11. Бондаренко О. В. Розробка системи моніторингу температурного режиму медичних препаратів : кваліфікаційна робота бакалавра / Харківський національний університет радіоелектроніки, 2021. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/15876> (дата звернення: 20.03.2026).

12. Коваленко І. М. Інформаційна система контролю умов зберігання вакцин : магістерська робота / Національний університет «Львівська політехніка», 2020. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/56123> (дата звернення: 23.03.2026).

13. Ткачук В. С. Система дистанційного контролю температури та вологості для медичних складів : дипломна робота / Вінницький національний технічний університет, 2022. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35678> (дата звернення: 26.03.2026).

14. Мельник П. Р. Автоматизована система моніторингу холодового ланцюга вакцин : кваліфікаційна робота / Тернопільський національний технічний

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

університет ім. І. Пулюя, 2021. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/34891> (дата звернення: 01.03.2026).

15. Adafruit. DHT Humidity & Temperature Sensors Guide. 2023. URL: <https://learn.adafruit.com/dht> (дата звернення: 01.04.2026).

16. World Health Organization. Immunization in practice: vaccine storage and handling module. Geneva, 2015. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/193412> (дата звернення: 04.03.2026).

17. Centers for Disease Control and Prevention. Vaccine Storage and Handling. Atlanta, 2024. URL: <https://www.cdc.gov/vaccines/hcp/admin/storage/index.html> (дата звернення: 07.03.2026).

18. UNICEF. Effective Vaccine Management Initiative. New York, 2021. URL: <https://www.unicef.org/supply/vaccines> (Дата звернення: 10.03.2026).

19. National Institute of Standards and Technology. Guidelines for Smart Sensor Systems. Gaithersburg, 2018. URL: <https://www.nist.gov/publications> (дата звернення: 13.03.2026).

20. Texas Instruments. Temperature Sensors Application Guide. Dallas, 2022. URL: <https://www.ti.com/sensors/temperature-sensors/overview.html> (дата звернення: 16.03.2026).

21. Maxim Integrated. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet, 2019. URL: <https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html> (дата звернення: 19.03.2026).

22. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet, 2024. URL: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents> (дата звернення: 22.03.2026).

23. HiveMQ GmbH. MQTT Essentials Series. Landshut, 2023. URL: <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/> (дата звернення: 25.04.2026).

24. OASIS Standard. MQTT Version 5.0. 2019. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата звернення: 28.04.2026).

25. Node-RED. Documentation and User Guide, 2024. URL: <https://nodered.org/docs/> (дата звернення: 30.03.2026).

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

26. Arduino. Official DHT Sensor Library Documentation. 2023. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/dht-sensor-library/> (дата звернення: 03.04.2026).
27. Bosch Sensortec. BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor Datasheet, 2022. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/> (дата звернення: 06.04.2026).
28. ISO 13485:2016. Medical devices - Quality management systems - Requirements for regulatory purposes. URL: <https://www.iso.org/standard/59752.html> (дата звернення: 09.04.2026).
29. ISO 14971:2019. Medical devices - Application of risk management to medical devices. URL: <https://www.iso.org/standard/72704.html> (дата звернення: 12.04.2026).
30. European Commission. Guidelines on Good Distribution Practice of medicinal products for human use, 2013. URL: https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/2013_c343_01_en_0.pdf (дата звернення: 15.04.2026).
31. United States Pharmacopeia. USP <1079> Good Storage and Distribution Practices for Drug Products. Rockville, 2020. URL: <https://www.usp.org> (дата звернення: 18.04.2026).
32. МОЗ України. Ліцензійні умови провадження господарської діяльності з виробництва лікарських засобів, 2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/929-2016-%D0%BF> (дата звернення: 20.04.2026).
33. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ, 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64026 (дата звернення: 22.04.2026).
34. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi Documentation, 2024. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата звернення: 24.04.2026).
35. Смольський А. Я. Дослідження методів та засобів побудови кіберфізичних систем : бакалаврська робота / Національний університет «Львівська політехніка», 2024. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/f956b345-1299-4de2-ae7a-5fadbaef32f54> (дата звернення: 26.04.2026).

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

36. Amazon Web Services. AWS IoT Core Developer Guide, 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/iot/> (дата звернення: 28.04.2026).
37. Google Cloud. IoT Solutions Overview, 2023. URL: <https://cloud.google.com/solutions/iot> (дата звернення: 30.04.2026).
38. Oracle. Database Concepts Guide, 2022. URL: <https://docs.oracle.com/en/database/> (дата звернення: 01.05.2026).
39. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL Documentation, 2024. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 03.05.2026).
40. Береговий В. М. Оптимізація та дослідження характеристик системи дистанційного моніторингу та керування параметрами мікроклімату : магістерська робота / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2026. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/item/20758> (дата звернення: 05.05.2026).
41. Docker Inc. Docker Documentation, 2024. URL: <https://docs.docker.com/> (дата звернення: 07.05.2026).
42. Linux Foundation. Linux Kernel Documentation, 2023. URL: <https://www.kernel.org/doc/html/latest/> (дата звернення: 09.05.2026).
43. IEC 60601-1. Medical electrical equipment - General requirements for basic safety and essential performance, 2020. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/2612> (дата звернення: 15.05.2026).
44. Cisco Systems. Introduction to IoT Networking, 2022. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html> (дата звернення: 15.05.2026).
45. IBM Corporation. What is Internet of Things (IoT)? 2024. URL: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things> (дата звернення: 18.05.2026).
46. Intel Corporation. Internet of Things Overview and Solutions, 2023. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/internet-of-things/overview.html> (дата звернення: 18.05.2026).

47. Siemens AG. Industrial IoT Solutions for Healthcare and Pharmaceuticals, 2022. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/topic-areas/industrial-iot.html> (дата звернення: 18.05.2026).

48. National Institutes of Health. Vaccine Storage and Handling Best Practices, 2021. URL: <https://www.nih.gov> (дата звернення: 19.05.2026).

49. Schneider Electric. Environmental Monitoring Systems for Healthcare Applications, 2023. URL: <https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/healthcare/> (дата звернення: 19.05.2026).

50. World Health Organization. Monitoring vaccine temperatures in the cold chain. Geneva, 2015. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/133849> (дата звернення: 19.05.2026).

51. World Health Organization. Study protocol for temperature monitoring in the vaccine cold chain. Geneva, 2011. URL: https://www.who.int/publications/i/item/WHO_IVB_05.01_REV.1 (дата звернення: 21.05.2026).

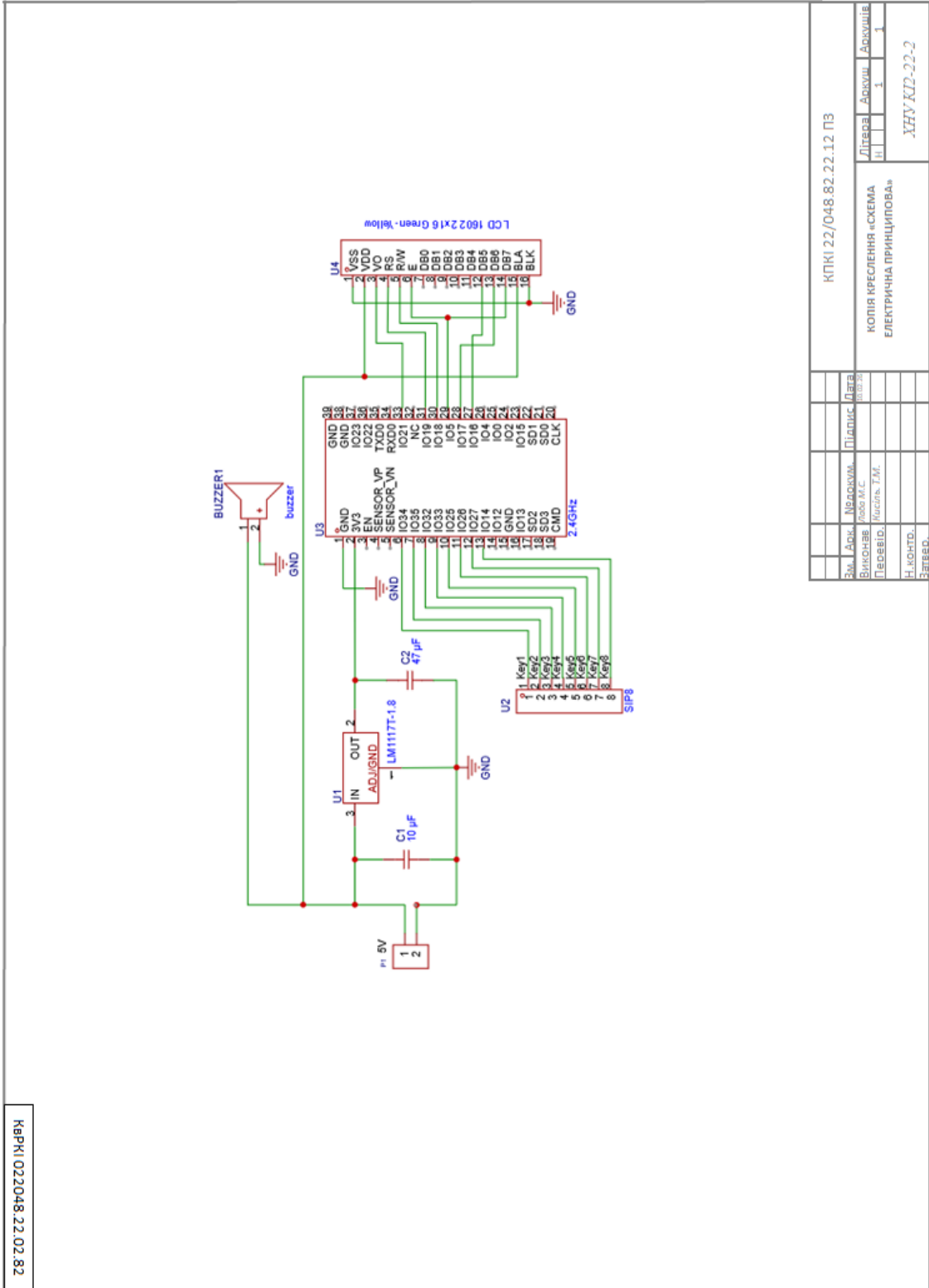
52. World Health Organization. Temperature sensitivity of vaccines. Geneva, 2014. URL: <https://www.who.int/publications/m/item/temperature-sensitivity-of-vaccines> (дата звернення: 20.05.2026).

					КВРКІ 022048.22.02.82 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Копія креслення «Схема електрична принципова»



КВРКІ 02.20.48.22.02.82

КПКІ 22/048.82.22.12 ПЗ			
Вм. Док.	Підпис		
Виконув.	Дата		
Певвід.	Місць. Т.М.		
Н.Контр.			
ВарБЕД.			
Літтов	Аркуш	Аркуші	Аркуші
1	1	1	1
ХНУ ХІТ-22-2			
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА»			

ДОДАТОК В (обов'язковий)

Програмна реалізація та інтерфейс системи контролю умов зберігання медикаментів

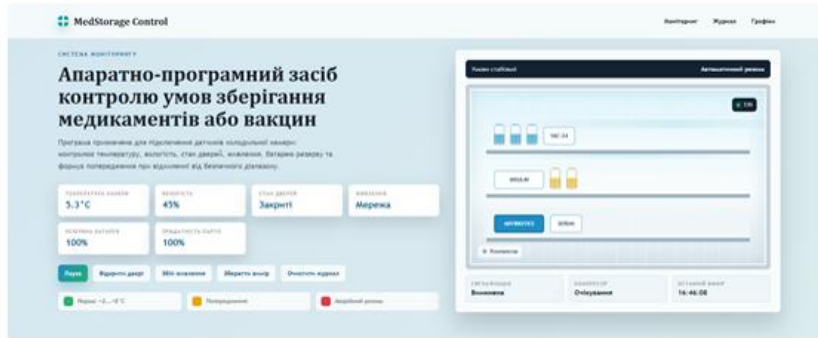


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд програми

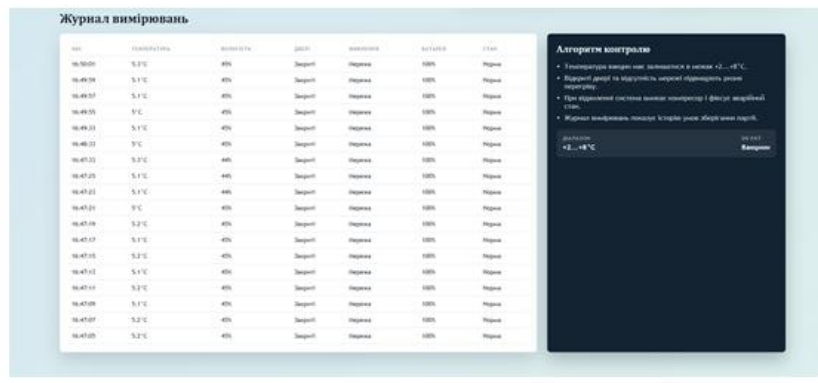


Рисунок 3.2 - Частина системі з числовими показниками

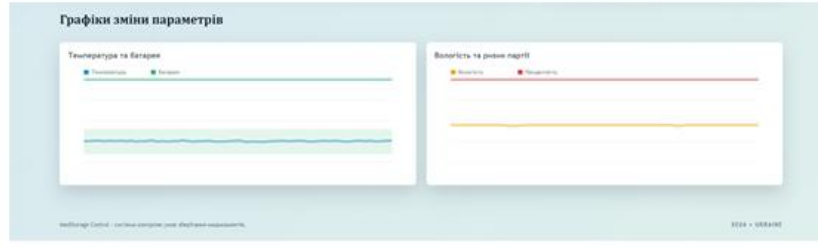


Рисунок 3.3 - Частина системі з графіками

КПКІ 22/048.82.22.12 ПЗ		Діагностика	Діагностика	Діагностика
		П	П	П
		Тестування системи		
		КНУ КІЗ-22-2		
Зм. Док.	Мілошук	Піліпчук		
Власов	Лосов	Мисель	Т.М.	
ПЕВЕРІД				
Н.А.КНТД.				
ВІДКРИТИ				

КВРКІ 022048.22.02.82

ДОДАТОК Г

(обов'язковий)

Лістинг програмно-апаратного засобу

Головний файл управління

```
const { app, BrowserWindow } = require('electron');
const path = require('path');

function createWindow() {
  const win = new BrowserWindow({
    width: 1300,
    height: 900,
    webPreferences: {
      contextIsolation: true,
      nodeIntegration: false
    }
  });

  win.loadFile(path.join(__dirname, 'public', 'index.html'));
}

app.whenReady().then(createWindow);

app.on('window-all-closed', () => {
  if (process.platform !== 'darwin') app.quit();
});
```

Файл інтерфейсу

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
  <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">
```

```
<title>MedStorage Control</title>
<link rel="stylesheet" href="./CSS/style.css">
</head>
<body>
  <header class="topbar">
    <div class="brand">
      <span class="brand-mark"></span>
      MedStorage Control
    </div>
    <nav class="topnav">
      <a href="#monitoring">Моніторинг</a>
      <a href="#data">Журнал</a>
      <a href="#analytics">Графіки</a>
    </nav>
  </header>

  <main>
    <section class="hero" id="monitoring">
      <div class="hero-left">
        <p class="eyebrow">Система моніторингу</p>
        <h1>Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання
медикаментів або вакцин</h1>
        <p class="lead">
          Програма призначена для підключення датчиків холодильної
камери: контролює
          температуру, вологість, стан дверей, живлення, батарею
резерву та формує
          попередження при відхиленні від безпечного діапазону.
        </p>

        <div class="stats">
          <div class="stat-card">
            <span class="stat-label">Температура камери</span>
            <strong id="temperatureValue">4.8°C</strong>
          </div>
        </div>
      </div>
    </section>
  </main>
</body>
</html>
```

```
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Вологість</span>
  <strong id="humidityValue">48%</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Стан дверей</span>
  <strong id="doorValue">Закриті</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Живлення</span>
  <strong id="powerValue">Мережа</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Резервна батарея</span>
  <strong id="batteryValue">96%</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Придатність партії</span>
  <strong id="integrityValue">100%</strong>
</div>
</div>

<div class="controls">
  <button class="btn primary" id="toggleSim">Пауза</button>
  <button class="btn ghost" id="toggleDoor">Відкрити
двері</button>
  <button class="btn ghost" id="togglePower">Збій
живлення</button>
  <button class="btn ghost" id="saveSample">Зберегти
вимір</button>
  <button class="btn ghost" id="clearData">Очистити
журнал</button>
</div>
```

```
<div class="legend">
  <div class="legend-item">
    <span class="legend-swatch safe"></span>
    Норма: +2...+8°C
  </div>
  <div class="legend-item">
    <span class="legend-swatch warning"></span>
    Попередження
  </div>
  <div class="legend-item">
    <span class="legend-swatch alarm"></span>
    Аварійний режим
  </div>
</div>
</div>

<div class="hero-right">
  <div class="scene" aria-label="Панель контролю холодильної
камери">
    <div class="monitor-head">
      <span id="systemStatus">Умови стабільні</span>
      <strong id="systemMode">Автоматичний режим</strong>
    </div>
    <div class="cold-room" id="coldRoom">
      <div class="cooling-stream stream-a"></div>
      <div class="cooling-stream stream-b"></div>
      <div class="door-panel" id="doorPanel"></div>
      <div class="sensor-node">
        <span></span>
        Т/Н
      </div>
      <div class="shelves">
        <div class="shelf">
```

```
<div class="vial"></div>
<div class="vial"></div>
<div class="vial"></div>
<div class="box">VAC-24</div>
</div>
<div class="shelf">
  <div class="box wide">INSULIN</div>
  <div class="vial amber"></div>
  <div class="vial amber"></div>
</div>
<div class="shelf">
  <div class="box wide blue">ANTIBIOTICS</div>
  <div class="box">SERUM</div>
</div>
</div>
<div class="compressor" id="compressor">
  <span></span>
  Компресор
</div>
</div>
<div class="device-row">
  <div>
    <span class="device-label">Сигналізація</span>
    <strong id="alarmValue">Вимкнена</strong>
  </div>
  <div>
    <span class="device-label">Компресор</span>
    <strong id="compressorValue">Очікування</strong>
  </div>
  <div>
    <span class="device-label">Останній вимір</span>
    <strong id="lastSampleValue">--:--:--</strong>
  </div>
</div>
</div>
```

```
    </div>
  </div>
</section>

<section class="data-section" id="data">
  <h2>Журнал вимірювань</h2>
  <div class="data-grid">
    <div class="table-card">
      <table>
        <thead>
          <tr>
            <th>Час</th>
            <th>Температура</th>
            <th>Вологість</th>
            <th>Двері</th>
            <th>Живлення</th>
            <th>Батарея</th>
            <th>Стан</th>
          </tr>
        </thead>
        <tbody id="dataTableBody">
          <tr>
            <td colspan="7" class="empty-row">Журнал ще
порожній</td>
          </tr>
        </tbody>
      </table>
    </div>
    <div class="summary-card">
      <h3>Алгоритм контролю</h3>
      <ul>
        <li>Температура вакцин має залишатися в межах
+2...+8°C.</li>
      </ul>
    </div>
  </div>
</section>
```

Відкриті двері та відсутність мережі підвищують ризик перегріву.

При відхиленні система вмикає компресор і фіксує аварійний стан.

Журнал вимірювань показує історію умов зберігання партії.

<div class="status-block">

<div>

Діапазон

+2...+8°C

</div>

<div>

Об'єкт

Вакцини

</div>

</div>

</div>

</div>

</section>

<section class="analytics-section" id="analytics">

<h2>Графіки зміни параметрів</h2>

<div class="charts">

<div class="chart-card">

<h3>Температура та батарея</h3>

<canvas id="tempChart" width="720" height="260"></canvas>

</div>

<div class="chart-card">

<h3>Вологість та ризик партії</h3>

<canvas id="climateChart" width="720" height="260"></canvas>

</div>

</div>

```
</section>
```

```
</main>
```

```
<footer class="footer">
```

```
<div>
```

```
    MedStorage Control - система контролю умов зберігання  
медикаментів.
```

```
</div>
```

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Максим ЛАБА

Співавтор:

Назва: Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцини

Експерт: Тетяна КИСІЛЬ

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:6.33%

Коефіцієнт подібності 2:2.65%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-25 23:52:32.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-05-26

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701**Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%**

ID: 272265 Назва: БКР Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин Додано в БД: 2026-05-26 Автора: Максим ЛАБА Керівники: Тетяна КИСІЛЬ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	95937	700	3723 (4%)	46 (7%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Лаба Максим Сергійович

Тема: Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання медикаментів або вакцин

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 81

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного засобу умов зберігання медикаментів або вакцин.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області, а саме проаналізовано медико-технічні вимоги до зберігання термолабільних медичних препаратів і вакцин («холодового ланцюга») та сучасні підходи до побудови систем клімат-контролю. Проведено глибокий порівняльний аналіз теорії цифрових автоматів. З урахуванням новітніх досягнень у сфері мікроелектроніки (сучасних цифрових датчиків температури/вологості та мікроконтролерів) виконано постановку задачі дослідження та визначено вимоги до розробки схем електричних функціональної і принципової.

В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання та проектування цифрового операційного автомата, який виступає логічним ядром системи контролю мікроклімату. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано практичну реалізацію та верифікацію розробленого програмно-апаратного засобу із застосуванням передових методів комп'ютерного проектування (CAD/EDA систем). З метою підтвердження правильної та безперебійної логіки роботи пристрою в умовах критичних температурних коливань, виконано високорівневе моделювання схеми, що підтвердило повну відповідність розробленого засобу жорстким галузевим стандартам зберігання медикаментів.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Серед недоліків роботи варто вказати на відсутність детальних рекомендацій щодо конструктивного виконання (корпусу) пристрою та його захисту від вологи й пилу.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно/D/70

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Степан Шкварко, Василюк РІД, ст. викладач, К.В.Сербський

"28" 05 2026 р.

 _____ (підпис)

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Максим Лаба

ІІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

4 червня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Апаратно-програмний засіб контролю умов зберігання
медикаментів або вакцин

Автор Максим Лаба

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти першій (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент Тетяна КИСЛІЬ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел


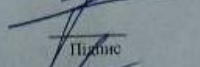
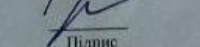
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6,33% і системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

26.05.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Тетяна КИСЛІЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ