

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

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу
мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Лазута Р. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лецишин Ю. З.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гром'як Р.С.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Лазуті Роману Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості

Керівник роботи Лецишин Юрій Зіновійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання на розробку віддаленого моніторингу мікроклімату

2. Проектування комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату

3. Програмування та тестування віддаленого моніторингу мікроклімату

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Модель тестового макету

4. Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>д.т.н., професор Пулипець М. І.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання на розробку віддаленого моніторингу мікроклімату</i>	<i>14.02 – 27.03</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Проєктування комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату</i>	<i>03.04 – 02.05</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Програмування та тестування віддаленого моніторингу мікроклімату</i>	<i>08.05 – 26.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>27.05 – 02.06</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>03.06 – 09.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>10.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>27.06</i>	<i>Викон.</i>

Студент

_____ (підпис)

Лазута Роман Володимирович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Лецишин Юрій Зіновійович

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лазута Р.В. Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютеризована система, віддалений моніторинг, мікроклімат, ESP32-WROOM-32D, LoRa, OLED-дисплей, BME280, MQ-135, PMS5003, GP2Y1014AU0F.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості на базі ESP32-WROOM-32D із використанням сенсорів BME280, MQ-135, PMS5003 та GP2Y1014AU0F і бездротового зв'язку LoRa.

У першому розділі проведено аналіз технічного завдання: окреслено вимоги до системи та оцінено існуючі рішення в контексті виробничого середовища.

У другому розділі описано проектну частину: наведено структурну схему системи, обґрунтовано вибір елементної бази, розроблено електричні схеми та блок-схему алгоритму роботи програмного забезпечення.

У третьому розділі розкрито практичну реалізацію: викладено реалізацію прошивки в середовищі Arduino, налаштування OLED-інтерфейсу та LoRa-передачі, а також результати тестування стабільності й точності системи.

У четвертому розділі висвітлено аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці: розглянуто заходи щодо мінімізації ризиків при експлуатації обладнання в умовах промислового цеху.

ANNOTATION

Lazuta R.V. Computerized system for remote monitoring of the microclimate in textile industry production workshops: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: computerized system, remote monitoring, microclimate, ESP32 WROOM 32D, LoRa, OLED display, BME280, MQ 135, PMS5003, GP2Y1014AU0F.

The qualification work is devoted to the development of a computerized system for remote monitoring of the microclimate in textile industry production workshops based on the ESP32 WROOM 32D microcontroller, utilizing BME280, MQ 135, PMS5003, and GP2Y1014AU0F sensors, along with LoRa wireless communication.

The first chapter presents an analysis of the technical requirements: system specifications are defined and existing solutions are evaluated in the context of the production environment.

The second chapter describes the design stage: the structural diagram of the system is presented, the component base is justified, electrical schematics are developed, and the algorithmic block diagram of the software is provided.

The third chapter outlines the practical implementation: the firmware is developed in the Arduino environment, OLED interface and LoRa communication are configured, and the results of system stability and accuracy testing are analyzed.

The fourth chapter addresses occupational safety and health aspects: measures to minimize risks during equipment operation in the conditions of an industrial workshop are considered.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ	10
1.1 Основні технічні вимоги до комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості....	10
1.2 Аналіз існуючих рішень.....	12
1.2.1 Аналіз вимог до області застосування вбудованої системи для моніторингу параметрів мікроклімату.....	12
1.2.2 Існуючі системи для автоматизованого моніторингу клімату у виробничих цехах текстильної промисловості	14
1.3 Аналіз можливих рішень по розробці системи	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ	19
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості....	19
2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату	21
2.2.1 Опис основних компонентів.....	21
2.3 Розробка схеми електричної комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату.....	28
2.4 Розробка схеми електричних з'єднань комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату	34

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лазута Р.В.					6	
Перевір.		Лецишин Ю.З.						
Реценз.		Гром'як Р.С.						
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

2.5	Розробка блок-схеми алгоритму роботи та опис бібліотек комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату	35
2.6	Обґрунтування вибору мови програмування.....	39
2.7	Опис шин обміну даними.....	40
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ		42
3.1	Реалізація програмної частини комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату	42
3.2	Реалізація апаратної частини моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості.....	47
3.3	Налаштування та тестування системи	51
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ....		55
4.1	Долікарська допомога при ушкодженні м'яких тканин, суглобів і кісток.....	55
4.2	Вплив вібрацій на організм людини та розробка заходів щодо її зниження	58
ВИСНОВКИ.....		61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		62
Додаток А Технічне завдання		
Додаток Б Лістинг коду програми		
Додаток В Перелік елементів до схеми електричної принципової		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

AR – Augmented Reality

ERP – Enterprise Resource Planning

I2C – Inter Integer Circuit

LoRaWAN – Long Range Wide Area Network

MES – Manufacturing Execution System

MISO – Master In Slave Out

MOSI – Master Out Slave In

RX – Receive (дані)

SCL – Serial Clock Line

SCK – Serial Clock

SDA – Serial Data (Line)

SCK – Serial Clock

SPI – Serial Peripheral Interface

TX – Transmit (дані)

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USB – Universal Serial Bus

ПК – Персональний комп'ютер

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Контроль параметрів мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості має ключове значення для забезпечення стабільності технологічних процесів, якості виробів та безпеки персоналу. Сучасні вимоги до автоматизації передбачають інтеграцію компактних вбудованих рішень, здатних у реальному часі реєструвати температуру, вологість, тиск, концентрацію летких органічних сполук і зважених часток, а також оперативно передавати дані до центру обробки для моніторингу та аналізу. Використання платформи ESP32-WROOM-32D із додатковим радіомодулем LoRa забезпечує гнучкість архітектури – кожний модуль одночасно виконує вимірювання, обробку та бездротову передачу результатів, що спрощує інсталювання і збільшує надійність каналу зв'язку [1].

Застосування сенсорів BME280 дає змогу отримувати точні значення температури, вологості й атмосферного тиску з мінімальною похибкою, у той час як модуль MQ-135 відповідає за виявлення шкідливих газів та летких органічних сполук, що можуть утворюватися під час фарбування та обробки волокон. Для контролю пилової забрудненості використовуються датчики GP2Y1014AU0F і PMS5003, здатні фіксувати концентрацію твердих аерозолів у повітрі з високою роздільною здатністю. Отримані показники локально відображаються на OLED-екрані кожного вузла, що дозволяє оперативно оцінити стан мікроклімату без доступу до центральної системи, а також передаються на підключену через USB-порт ESP32-LoRa-станцію, яка виконує роль мосту між польовими модулями та комп'ютерним ПЗ.

Метою даної роботи є розробка цілісного апаратно-програмного комплексу для автоматизованого моніторингу мікроклімату з можливістю візуалізації і збереження інформації для подальшого аналізу й прогнозування. Для цього передбачено реалізувати механізми калібрування сенсорів, попередньої обробки та фільтрації даних безпосередньо на вузлах, а також модуль передачі з підтвердженням доставки через LoRa-протокол.

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ

1.1 Основні технічні вимоги до комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості

Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості повинна гарантувати безперервний збір, обробку та передачу ключових параметрів навколишнього середовища з високою частотою опитування та мінімальною затримкою. До переліку таких параметрів належать температура, відносна вологість, атмосферний тиск, концентрація газів і аерозолів, які впливають на якість повітря та технологічні процеси. Точність вимірювань має відповідати галузевим стандартам і не перевищувати похибки в межах кількох відсотків від фактичного значення, щоб забезпечити прийняття своєчасних інженерних рішень.

Архітектура апаратної частини повинна передбачати модульність і можливість розширення кількості сенсорних вузлів без істотних змін у роботі існуючого обладнання. Кожний вузол зчитування має містити універсальний інтерфейс для підключення різноманітних датчиків із цифровим або аналоговим виходом, а також механізми калібрування та самодіагностики для попередження некоректної роботи. Живлення системи слід організувати з урахуванням промислової специфіки: стабілізоване джерело постійного струму з захистом від перенапруги й короткого замикання, резервне

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Лазута Р.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лецишин Ю.З.</i>				10	
<i>Реценз.</i>		<i>Гром'як Р.С.</i>			ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Аналіз технічного завдання на розробку віддаленого моніторингу мікроклімату</i>		

харчування або акумуляторний буфер забезпечать безперебійність роботи в умовах перепадів електромережі [2].

Комунікаційний модуль має підтримувати низькошвидкісні бездротові протоколи з дальністю покриття до кількох кілометрів у відкритому просторі та стійкі до завад, характерних для промислових середовищ. Архітектура мережі повинна передбачати можливість ієрархічного об'єднання локальних пристроїв у кластер та передачу зібраних даних на центральний сервер або хмарну платформу через лінії зв'язку з контролем цілісності й підтвердженням доставки пакетів.

Програмне забезпечення, розроблене з використанням відкритих фреймворків для вбудованих контролерів, повинно мати багаторівневу структуру: драйвери взаємодії з датчиками, модулі обробки та фільтрації сигналів, служби комунікації та інтерфейс користувача для первинного налаштування і моніторингу [3]. Надбудова програмного шару має підтримувати можливість віддаленого оновлення мікропрограми й конфігурації через захищений канал зв'язку без необхідності фізичного доступу до обладнання.

Урахування умов експлуатації є критичним аспектом надійності: всі компоненти повинні витримувати роботу при підвищеній вологості й температурних коливаннях, пиловому навантаженні та вібрації, характерних для текстильних цехів. Для цього застосовуються корпуси з відповідним ступенем захисту, фільтри та ущільнювальні елементи. Регламент технічного обслуговування передбачає періодичну перевірку працездатності датчиків, калібрування та заміну витратних елементів із інтервалом, що не перевищує шести місяців, а також моніторинг стану обладнання на предмет критичних відхилень у роботі.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз існуючих рішень

1.2.1 Аналіз вимог до області застосування вбудованої системи для моніторингу параметрів мікроклімату

Застосування вбудованих систем для моніторингу параметрів мікроклімату у виробничому середовищі передбачає урахування ряду функціональних, конструктивних та експлуатаційних вимог, які зумовлюються як технологічними потребами, так і нормативно-санітарними обмеженнями. У контексті текстильної промисловості, де виробничі процеси характеризуються значною чутливістю до коливань вологості, температури, концентрації пилу та інших газових домішок, критично важливим є забезпечення постійного і точного контролю мікрокліматичних умов у реальному часі. Відхилення від оптимальних параметрів може призвести не лише до втрати якості продукції, а й до підвищеного зносу обладнання або погіршення умов праці персоналу, що прямо впливає на ефективність виробництва.

Початковим етапом при розробці системи є визначення цільових показників, які необхідно контролювати, а також встановлення допустимих діапазонів для кожного з них. До основних параметрів, як правило, належать температура повітря, відносна вологість, рівень освітлення, концентрація зважених часток у повітрі, вміст вуглекислого газу та інших летких органічних сполук. У разі, коли виробництво пов'язане з процесами фарбування, обробки волокон або використанням хімічних реагентів, можуть також додатково контролюватися рівні аміаку, формальдегіду чи озону. Це зумовлює потребу у високоточних сенсорах, здатних працювати в умовах пилового навантаження, високої вологості або змінних температур, з достатньою стабільністю показників упродовж тривалого терміну експлуатації.

Одним із ключових факторів при побудові подібної системи є вибір архітектури взаємодії між елементами: автономні вузли, об'єднані у локальну

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

мережу з централізованою точкою збору інформації, або розподілена система, де обробка даних здійснюється частково на рівні сенсорних модулів. При цьому необхідно передбачити адаптацію до можливих збоїв у комунікації або живленні – тобто реалізацію механізмів буферизації даних, резервування каналів зв'язку, енергонезалежного зберігання вимірювань. Такі заходи забезпечують збереження безперервності моніторингу навіть за несприятливих умов.

Особливу увагу слід приділити фізичному розміщенню вузлів системи. В умовах виробничих цехів важливим є забезпечення доступності точок вимірювання для обслуговування при мінімальному ризику пошкодження від механічного впливу, вібрацій, електромагнітних перешкод або випадкового забруднення. Електронні модулі повинні бути встановлені у корпусах із ступенем захисту не нижче IP54, а у випадку роботи у вибухонебезпечних середовищах – відповідно до вимог вибухозахищеного виконання. Крім того, важливим є врахування зон впливу локальних джерел тепла або вентиляційних потоків, які можуть спричинити хибні значення у разі неправильного розташування датчиків.

Ураховуючи вимоги до точності та надійності системи, визначальною стає необхідність регулярної калібровки сенсорних елементів. Залежно від типу сенсора та умов експлуатації, інтервал калібрування може варіюватися від одного до шести місяців. У випадках, коли система працює в безперервному режимі і не передбачає зупинок виробництва, доцільно впроваджувати механізми самодіагностики або дистанційного технічного обслуговування.

Крім технічних аспектів, особливу роль відіграють вимоги до взаємодії системи з персоналом. Інтерфейси користувача повинні бути інтуїтивно зрозумілими, підтримувати відображення поточних значень, історичних графіків та систем сповіщень про перевищення допустимих порогів. Для промислових умов характерною є необхідність підтримки багаторівневого

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доступу, де обслуговуючий персонал має обмежені можливості втручання, а адміністратори – розширені функції аналітики та конфігурації.

Важливою є і можливість інтеграції із зовнішніми системами обліку та управління, зокрема ERP або MES-рішеннями, які забезпечують планування та аналіз ефективності виробничих процесів. З цією метою вбудовані системи повинні підтримувати відкриті або стандартні протоколи передачі даних і мати можливість до гнучкого налаштування каналів взаємодії.

Таким чином, область застосування вбудованої системи моніторингу мікроклімату передбачає поєднання широкого спектру технічних, програмних та ергономічних вимог, що визначають як її загальну функціональність, так і можливість ефективної експлуатації в умовах конкретного виробничого середовища. Всі ці вимоги мають бути закладені на етапі технічного проектування для забезпечення високого рівня надійності, гнучкості й масштабованості майбутнього рішення.

1.2.2 Існуючі системи для автоматизованого моніторингу клімату у виробничих цехах текстильної промисловості

У сучасних виробничих умовах текстильної промисловості широко застосовуються комплексні платформи автоматизованого моніторингу кліматичних параметрів, що поєднують локальні вбудовані контролери, промислові контролери логіки (PLC) і серверні рішення з елементами хмарної аналітики. Більшість із цих систем базується на модульній архітектурі, де кожен рівень виконує чітко визначену функцію: крайові вузли збирають сирі дані з польових точок вимірювання, а центральний сервер або хмарна платформа відповідальні за накопичення, обробку й візуалізацію інформації. Такі рішення дозволяють інтегрувати бездротові протоколи (LoRaWAN, NB-IoT, IEEE 802.15.4) із традиційними каналами Ethernet і RS-485, що розширює можливості масштабування і зменшує залежність від укладення нових кабельних трас у вже зайнятих виробничих приміщеннях.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						14
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

На прикладі провідних вендорів промислової автоматизації помітною є поява гібридних платформ, що поєднують локальні хаби (edge gateways) з хмарними сервісами. На крайовому рівні відбувається попередня фільтрація, агрегація та шифрування даних із використанням вбудованих алгоритмів машинного навчання для первинного виявлення аномалій у реальному часі. Далі інформація передається до центрального вузла, де за допомогою аналітичних панелей (dashboards) і REST-API відкривається доступ до історичних трендів, налаштувань оповіщень і моделей прогнозування. Подібні системи інтегруються з ERP та MES-рішеннями через стандартизовані конектори OPC UA чи MQTT, що забезпечує єдину екосистему управління виробництвом і мінімізує ризики ручного вводу даних.

У сегменті текстильної промисловості можна виділити спеціалізовані рішення, які додають до кліматичного моніторингу модулі контролю якості повітря та безпеки працівників. Так, деякі постачальники пропонують систему із центральним ПЛК, що обробляє дані з різноманітних сенсорних шельфів і автоматично коригує налаштування вентиляційної та кондиціонувальної техніки, враховуючи графіки виробничих циклів. Водночас програмне забезпечення надає можливість збереження даних в криптованих архівах і генерації звітів у форматі PDF чи CSV для внутрішніх аудитів та зовнішніх перевірок відповідно до вимог ISO 9001 і місцевих санітарних норм.

Окрему групу становлять рішення на базі промислових контролерів із підтримкою модулів розширення вводу-виводу. Вони характерні для великих підприємств із високою щільністю виробничого обладнання, де кожен контролер може обслуговувати до кількох десятків точок вимірювання. Завдяки використанню стандарту PROFIBUS або Modbus TCP/IP досягається сумісність із широким спектром датчиків і виконавчих механізмів, а надбудова SCADA-систем забезпечує моніторинг у реальному часі, архівацію історії змін і налаштування гнучких алгоритмів аварійного оповіщення через SMS та e-mail.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нарешті, поширюється практика впровадження мобільних рішень та додатків доповненої реальності (AR), які дозволяють технічному персоналу здійснювати швидку діагностику стану вузлів за допомогою смартфона або планшета. Системи, що підтримують AR-маркування, відображають на камері пристрою поточні показники, відмічають критичні точки й вказують рекомендовані дії для усунення неполадок. Така функціональність значно скорочує час на обслуговування та навчання працівників, а також підвищує загальну ефективність експлуатації встановленого обладнання.

1.3 Аналіз можливих рішень по розробці системи

При формуванні концепції системи для віддаленого моніторингу мікрокліматичних параметрів у виробничих цехах текстильної промисловості доцільним є розгляд декількох можливих варіантів побудови архітектури з урахуванням специфіки об'єкта контролю, економічної ефективності та доступності апаратної бази. Для запропонованого проекту доцільно обрати децентралізований підхід із застосуванням вбудованих сенсорних вузлів, здатних автономно здійснювати збір даних, попередню обробку та передачу інформації по бездротовому каналу на центральний модуль [4].

Враховуючи вимоги до низького енергоспоживання, надійності зв'язку в умовах металевих конструкцій та значної відстані між окремими ділянками цеху, оптимальним рішенням є використання бездротового протоколу LoRa. Сенсорні вузли формуються на основі мікроконтролера ESP32-WROOM-32D, що забезпечує як обчислювальні можливості, так і вбудовану підтримку Wi-Fi та Bluetooth, доповнену модулем LoRa Ra-02 (SX1278), який реалізує стійку до завад передачу даних у діапазоні 410–525 МГц. Така конфігурація дає змогу формувати автономні вузли, кожен з яких обладнаний відповідними сенсорами для фіксації параметрів мікроклімату.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Зокрема, для моніторингу атмосферних параметрів повітря використовується датчик BME280, що інтегрує функції вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску. Його цифровий інтерфейс дозволяє здійснювати точне вимірювання із мінімальними похибками, що критично важливо для умов технологічного середовища. Для виявлення забруднення повітря шкідливими речовинами використовується сенсор MQ-135, чутливий до широкого спектра летких сполук, зокрема аміаку, бензолу, диму та вуглекислого газу. Такий функціонал дозволяє виявляти не тільки відхилення від нормативних показників, але й потенційні джерела ризику для персоналу.

Доповненням до системи є оптичний датчик твердих частинок GP2Y1014AU0F, призначений для виявлення вмісту пилу у повітрі, що особливо актуально в умовах обробки волоконних матеріалів. Він дозволяє у реальному часі реєструвати підвищення концентрації дрібнодисперсних частинок, які можуть бути шкідливими як для здоров'я персоналу, так і для роботи чутливого обладнання. Паралельно з цим, для контролю рівня дрібнодисперсного пилу застосовується цифровий лазерний сенсор PMS5003, який забезпечує більш точне розділення частинок за розміром (PM1.0, PM2.5, PM10) та дозволяє формувати розширену картину якості повітря в цеху.

Передача даних від сенсорних вузлів здійснюється через LoRa-канал на приймальний модуль, також побудований на ESP32 із вбудованим модулем Ra-02. Цей пристрій підключається до персонального комп'ютера через USB-інтерфейс і виконує функції центрального концентратора даних. Він забезпечує прийом пакетів від віддалених вузлів, перевірку їхньої цілісності, фільтрацію за ідентифікаторами джерела та передавання у COM-порт для подальшої обробки в програмному середовищі ПК.

Розглядаючи можливі альтернативи, слід зауважити, що на відміну від централізованих систем на базі традиційних ПЛК або кабельних мереж, запропоноване рішення є більш гнучким, масштабованим та економічно

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

доцільним. Воно дозволяє адаптувати кількість сенсорних вузлів відповідно до особливостей конкретного виробництва, зменшити витрати на монтаж та обслуговування кабельної інфраструктури, а також оперативно реагувати на зміни в технологічному процесі.

Крім того, використання ESP32 як на передавальній, так і на приймальній стороні забезпечує широкі можливості подальшої розробки функціоналу, включаючи локальне збереження даних на SD-карті, побудову web-інтерфейсу моніторингу, а також впровадження автоматичних алгоритмів реагування на порушення допустимих параметрів. Такий підхід дозволяє сформувати повноцінну комп'ютеризовану систему контролю з високим рівнем автономності, масштабованості та відповідності сучасним вимогам промислової автоматизації.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ

2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості

Структурна схема комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості зосереджена навколо високопродуктивного модуля ESP32 WROOM-32D, який виступає єдиним ядром всіх функцій. Мікроконтролер відповідає за ініціалізацію й координацію роботи периферії, визначає інтервали опитування, виконує обробку сирих даних та забезпечує обмін інформацією з дисплеями й зв'язковим модулем. Розміщення ESP32 у центрі схеми гарантує компактність трасування шин живлення та даних, а також дозволяє легко масштабувати проєкт, додавши нові сенсорні вузли без суттєвих переробок апаратної платформи (рис. 2.1).

Параметри мікроклімату зчитуються трьома окремими підсистемами: термогігрометричний блок, газовий аналізатор і двоступеневий пиловий вузол. Цифровий сенсор температури та вологості підключено до I²C-шини разом із двома OLED-дисплеями, що дає змогу одночасно передавати показники та відображати їх у різних режимах або на двох незалежних вікнах. Газовий модуль MQ-135 під'єднано до аналогового входу ESP32, після чого значення приводяться до концентраційних одиниць за допомогою програмної температурної компенсації, що підвищує точність у мінливих умовах цеху.

Для контролю запиленості використано поєднання оптичного GP2Y1014AU0F, що фіксує короточасні сплески, та лазерного PMS5003, який передає готові цифрові пакети через інтерфейс UART із перевіркою

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Лазута Р.В.			<i>Проектування комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Лецишин Ю.З.					19	
<i>Реценз.</i>		Гром'як Р.С.				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

контрольної суми для виключення шумових артефактів. Обидва пилові сенсори живляться від окремої +5 В лінії блоку живлення, що забезпечує стабільну роботу незалежно від падінь напруги у головній шині.

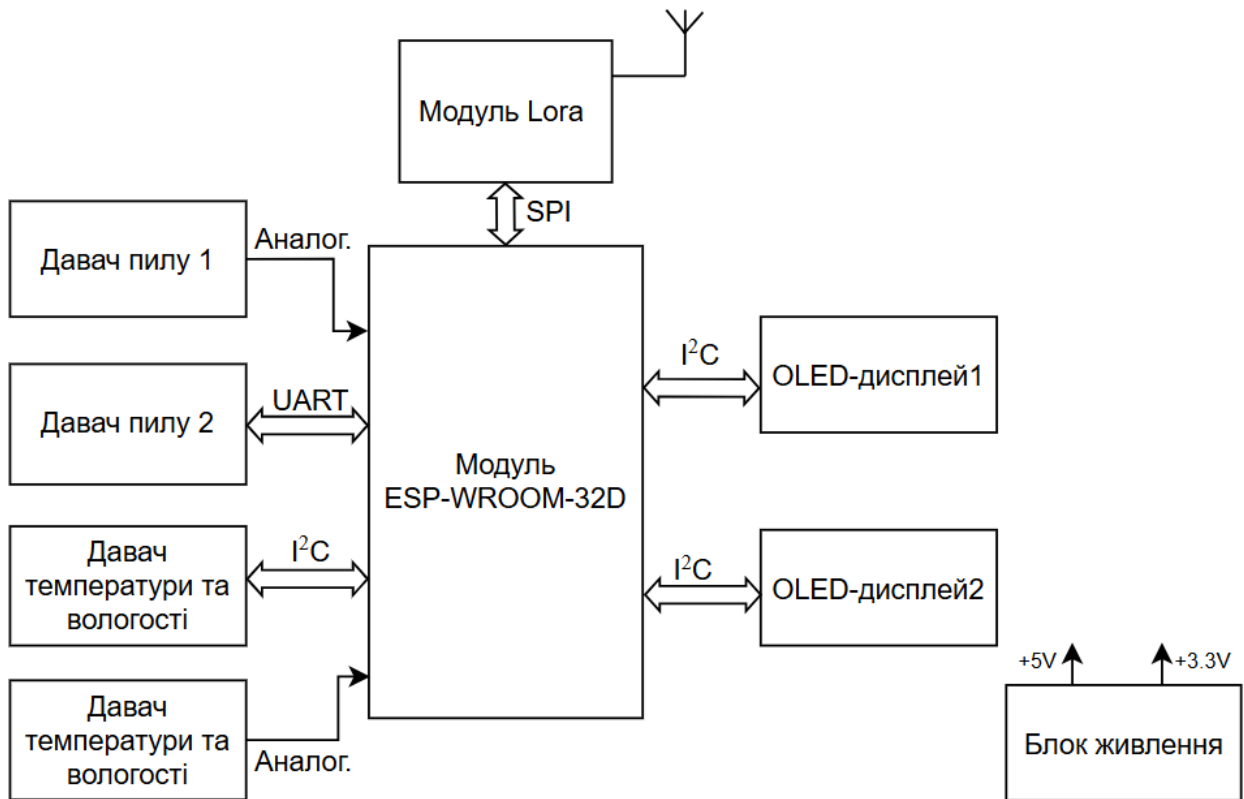


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп’ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Уніфікація інтерфейсів полегшує обмін даними: SPI-шина об’єднує ESP32 і LoRa Ra-02 SX1278 для надійної, довготривалої бездротової передачі в діапазоні 410–525 МГц, а I²C-сегмент відводиться під відображувальні й цифрові датчики. Живлення системи організоване по єдиній шині 3,3 В із LDO-стабілізатором на ESP32 і компактним фільтром з конденсаторів для згладжування пульсацій. Така структура забезпечує чіткий розподіл відповідальності між вузлами, мінімізацію перехресних завад і спрощення відладки – від під’єднання живлення до трасування сигналів і оновлення прошивки «по повітрю».

2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

2.2.1 Опис основних компонентів

При створенні комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості було обрано плату ESP32-WROOM-32D (рис. 2.2), що поєднує високопродуктивний двоядерний мікроконтролер та багатофункціональні засоби зв'язку у компактному форм-факторі. Кожне ядро Xtensa LX6 працює на частоті до 240 МГц, що забезпечує достатній запас обчислювальних ресурсів для одночасної обробки даних із кількох сенсорів, реалізації алгоритмів фільтрації сигналу та підтримання протоколів шифрування трафіку. У складі модуля інтегровано 520 КБ оперативної пам'яті і 4 МБ SPI-флеш, що дає змогу зберігати декілька версій прошивки й накопичувати історію вимірювань у невеликих буферах перед передачею на центральний сервер [5].

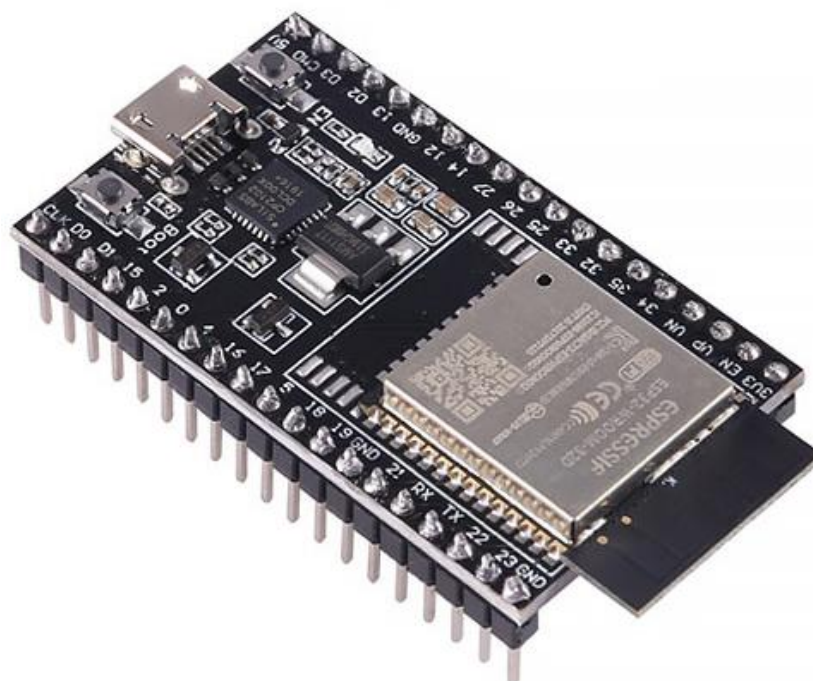


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд модуля ESP32-WROOM-32D

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Живлення плати організовано від діапазону 3,3-5 В із вбудованим стабілізатором і захистом від короткого замикання, що спрощує інтеграцію в існуючу інфраструктуру промислового обладнання. На корпусі розташовано 38 виводів GPIO, включно з можливостями конфігурації для I²C, SPI, UART та PWM, що дозволяє підключати термогігрометричні датчики, сенсори газів і пилу без додаткових перехідників. АЦП з 12-розрядною роздільною здатністю й частотою оцифрування до 2 Мегакадрів у секунду забезпечує точне вимірювання аналогових сигналів, тоді як апаратні модулі для криптографії прискорюють виконання SSL/TLS-з'єднань.

Вбудовані радіомодулі Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth 5.0 BLE відкривають гнучкі можливості для локальної й дистанційної комунікації. Підтримка режимів низького споживання, зокрема глибокого сну (deep sleep), дозволяє зі значною економією енергії організувати періодичне пробудження для опитування сенсорів та відправки зібраних даних – важлива властивість для автономних вузлів у віддалених зонах цеху. Крім того, модульна архітектура плати передбачає просте розгортання оновлень «по повітрю» (OTA) і дистанційну діагностику стану, що оптимізує процес технічного обслуговування й знижує час простоїв.

Широке поширення ESP32-WROOM-32D в індустрії засвідчує наявність масштабного співтовариства розробників, багатой екосистеми бібліотек і прикладів застосування в середовищі Arduino та ESP-IDF. Це дозволяє прискорити етап розробки прикладного програмного забезпечення, скоротивши ризик помилок у роботі з периферією та комунікаційними інтерфейсами. Завдяки перевірений надійності та гнучкості конфігурації, плата ESP32-WROOM-32D є оптимальним рішенням для реалізації завдань моніторингу мікроклімату в складних промислових умовах.

Сенсор VME280 (рис. 2.3) відрізняється низьким енергоспоживанням у режимі вимірювань, що дозволяє значно подовжити автономну роботу вузла без додаткових джерел живлення. Діапазон вимірювання температури від -40

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

до +85 °C із заявленою похибкою до ± 1 °C і діапазон вологості від 0 % до 100 % із точністю ± 3 % гарантують коректність даних у різних виробничих умовах. Вбудовані алгоритми компенсації тиску та температурної залежності покращують стабільність показників у тривалих циклах роботи, а наявність внутрішнього калібрування спрощує етап налаштування при монтажі системи. Завдяки суцільному металевому корпусу та захисній плівці на сенсорній матриці, модуль витримує підвищену вологість та пилове навантаження, що є невід'ємною частиною експлуатації в цехах текстильної промисловості.

Завдяки підтримці інтерфейсів I²C [6] та SPI, сенсор BME280 забезпечує гнучкість у виборі схеми з'єднання: I²C дозволяє підключати кілька пристроїв на одну шину з мінімальною кількістю проводів, а SPI [7] гарантує вищу швидкість передачі даних і стійкість до електромагнітних завад.

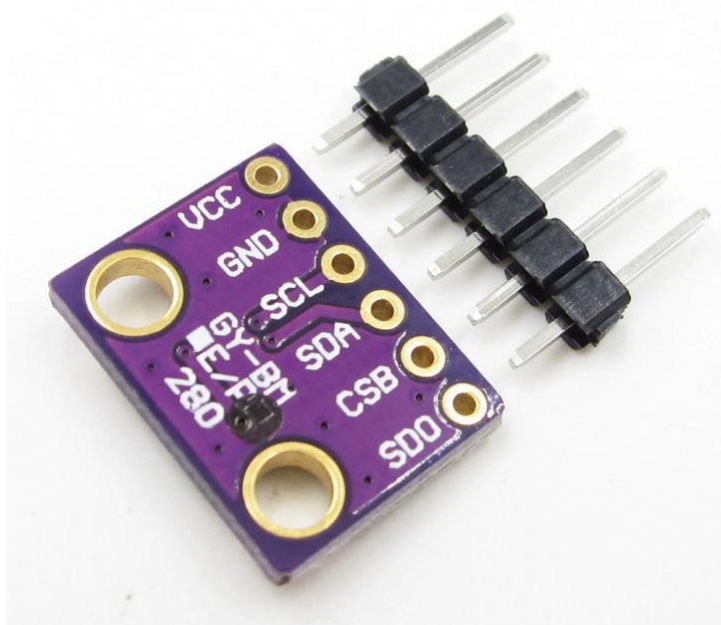


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика BME280

Датчик GP2Y1014AU0F (рис 2.4) від компанії Sharp реалізує оптичний метод визначення концентрації зважених часток у повітрі на основі розсіювання інфрачервоного випромінювання, що забезпечує високу чутливість до часток розміром від 1 мкм. Інтегрована світлодіодна підсвітка та

фотодіод розташовані під оптимальним кутом, що дозволяє формувати вихідний аналоговий сигнал із напругою, пропорційною рівню запиленості середовища. Завдяки вбудованому підсилювальному контуру зміщення сигналу мінімізується вплив перешкод і температурних коливань, а вбудований стабілізатор живлення забезпечує стабільну роботу при напрузі від 4,5 до 5,5 В [8].

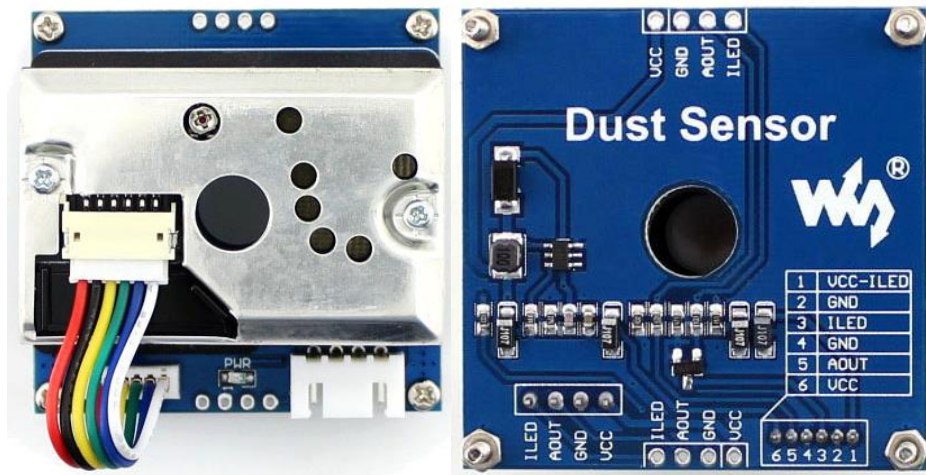


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд модуля GP2Y1010AU0F давача пилу

Енергоспоживання датчика залишається на рівні близько 20 мА у робочому режимі, і може бути додатково знижене шляхом переривчастого включення LED-елемента лише на час вимірювання. Компактний корпус із прозорим вікном для входу повітря полегшує монтаж у вентиляційних каналах або корпусах повітроочисних установок. GP2Y1014AU0F широко використовується в системах контролю якості повітря у промислових та побутових умовах, зокрема в системах вентиляції, очисниках повітря та станціях моніторингу атмосферного забруднення, де важлива оперативна оцінка рівня пилу та динаміка його змін.

Давача якості MQ-135 застосовується в даній системі для визначення рівня концентрації CO₂, (рис. 2.5). Розроблений на базі давача MQ135. На платі модуля розміщений компаратор, який призначений для порівняння рівня

концентрації шкідливих речовин з пороговим значенням, поріг спрацювання якого налаштовується потенціометром.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд модуля давача якості повітря MQ-135

Характеристики:

- напруга живлення давача становить 5 В;
- на виході давач видає аналогову напругу 0 – 5 В пропорційно до рівня рівні вихідних сигналів давача відповідають TTL логіці;
- концентрація газів в повітрі.

OLED-дисплей (рис. 2.6) використовує органічні світлодіоди для відображення висококонтрастного зображення без потреби у зовнішній підсвітці, що забезпечує насичений чорний та широкі кути огляду. Роздільна здатність типових модулів становить 128×32 або 128×64 пікселі, що дозволяє виводити як числові дані, так і прості графічні індикатори.

Інтерфейс зв'язку реалізовано через I²C або SPI, що зменшує кількість необхідних ліній та полегшує інтеграцію з мікроконтролерами. Низьке споживання енергії та тонкий корпус роблять OLED-екрани ідеальними для компактних автономних систем, а вбудовані команди керування контрастом дозволяють адаптувати відображення до різних умов освітлення.

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

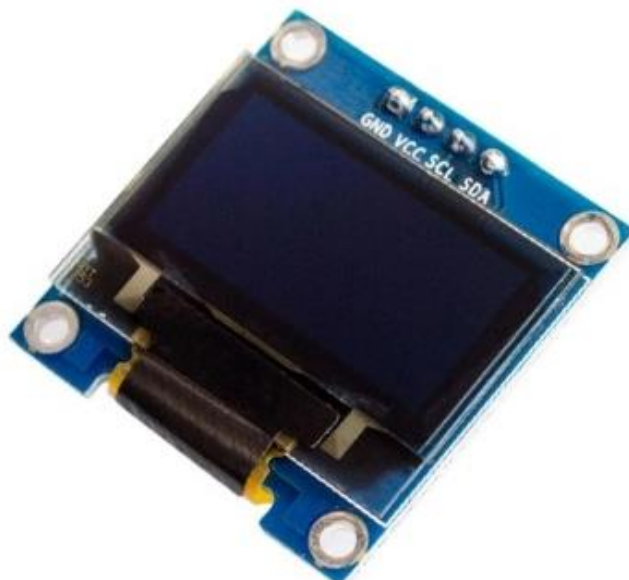


Рисунок 2.6 – OLED дисплей

Модуль LoRa Ra-02 SX1278 (рис. 2.7) працює в піддіапазоні 433 МГц із використанням технології Chirp Spread Spectrum, що забезпечує стійкість зв'язку в умовах інтенсивних радіоперешкод. Управління відбувається через інтерфейс SPI, а програмне налаштування параметрів (частота, потужність, швидкість) виконується через регістри чипа. Низьке енергоспоживання в режимах очікування та прийому дозволяє організовувати автономні датчикові вузли, що живляться від батарей, а компактні габарити полегшують інтеграцію у промислові бокси [9].

Основні характеристики LoRa Ra-02 SX1278:

- робочий діапазон частот: 410–525 МГц (стандарт 433 МГц);
- тип модуляції: LoRa (Chirp Spread Spectrum);
- максимальна вихідна потужність передавача: +20 дБм;
- чутливість приймача: до –137 дБм;
- інтерфейс зв'язку: SPI (до 10 МГц);
- напруга живлення: 1,8–3,7 В;
- споживання струму в режимі передачі: до 120 мА;
- температурний діапазон експлуатації: –40...+85 °С.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ

Арк.

26

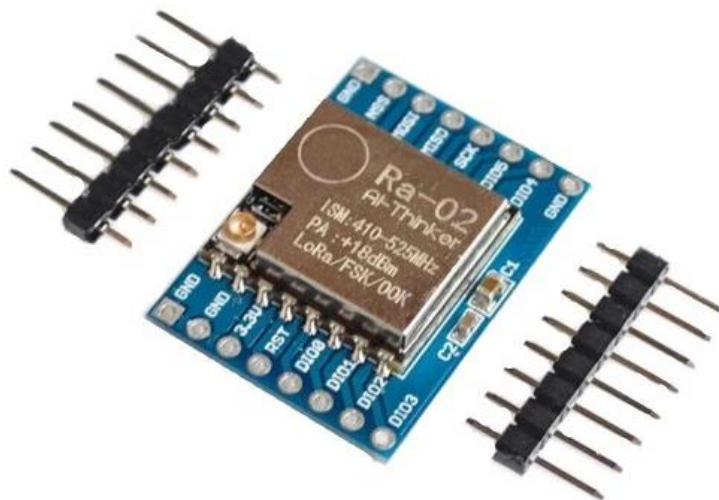


Рисунок 2.7 – Модуль LoRa Ra-02 SX1278

Датчик якості повітря PMS5003 (рис. 2.8) використовує лазерну технологію для точного визначення концентрації зважених часток у діапазоні від 0,3 до 10 мкм, класифікуючи їх у три умовні групи: PM1.0 (0,3–1 мкм), PM2.5 (1–2,5 мкм) та PM10 (2,5–10 мкм). Пристрій формує об’ємну аерозольну пробу за допомогою вбудованого вентиляторного насоса, після чого інфрачервоний лазерний промінь освітлює частинки й реєструє інтенсивність розсіяного світла фотодіодом. Отриманий аналоговий сигнал підсилюється і перетворюється в цифровий потік даних через інтегрований мікроконтролер, що забезпечує високу точність вимірювань навіть за мінімальних концентрацій забруднень.



Рисунок 2.8 – Датчик якості повітря PMS5003

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Завдяки внутрішньому алгоритму калібрування та компенсації температурних і вологісних впливів, PMS5003 демонструє стабільні показники в широкому діапазоні навколишніх умов. Інтерфейс UART зі стандартними швидкостями обміну даних полегшує інтеграцію модуля в існуючі системи моніторингу, а можливість живлення від 5 В робить його сумісним із різноманітними контролерами без додаткових перетворювачів. Компактний формфактор і низький рівень шуму вентилятора сприяють безперешкодному встановленню в умовах виробничих цехів, тоді як швидкість оновлення даних до 1 секунди дозволяє оперативно реагувати на зміну запиленості повітря та реалізувати ефективні алгоритми управління вентиляцією чи очищенням повітряного середовища [10].

2.3 Розробка схеми електричної комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Схема комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості поділена на декілька функціональних вузлів, кожен із яких відповідає за збір, первинну обробку або передавання даних. До складу системи входять інтерфейсні модулі відображення, сенсорні блоки вимірювання різних параметрів середовища та комунікаційні елементи для передачі телеметрії на віддалений центр обробки. Усі підсистеми об'єднані навколо центрального контролера на базі ESP32-WROOM-32D (рис. 2.9), який забезпечує синхронізацію роботи, управління живленням та обробку отриманої інформації.

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

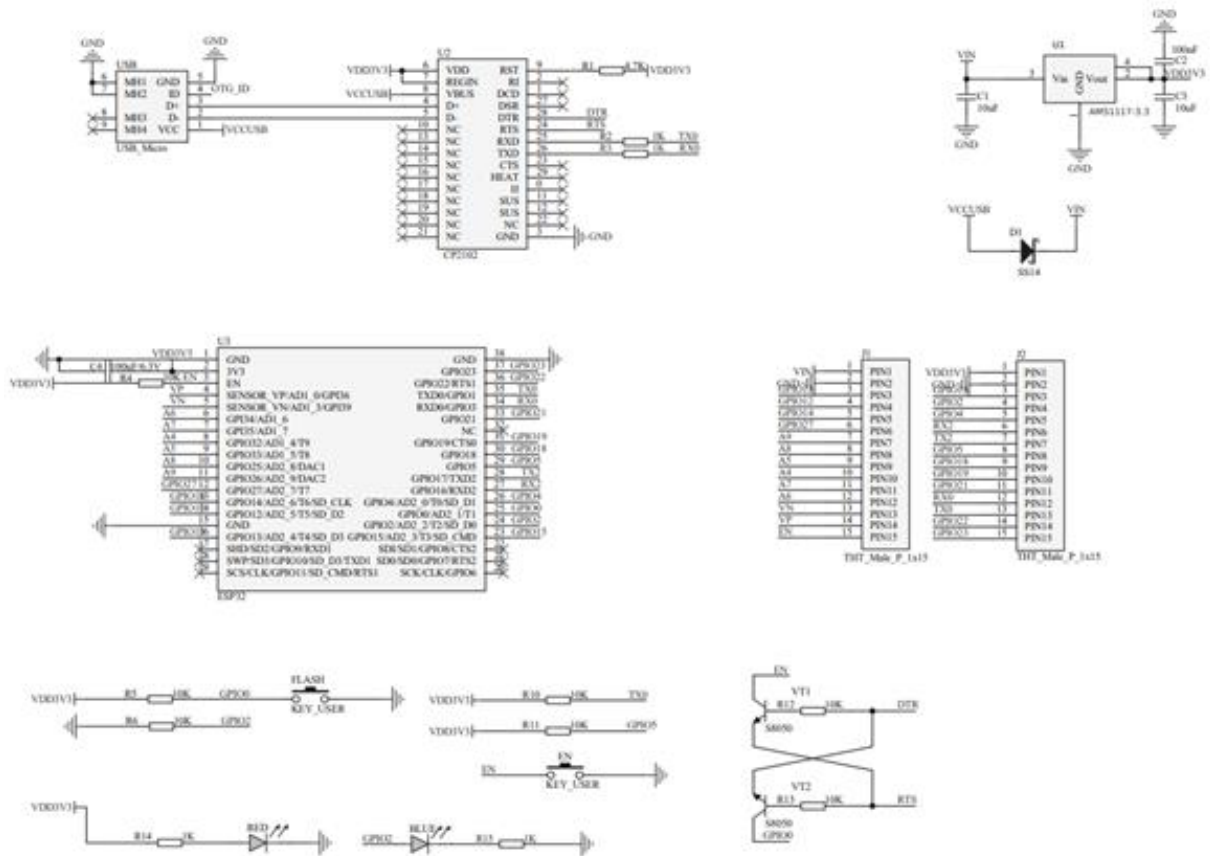


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова модуля ESP32-WROOM-32D

У складі комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату кожен вузол відповідає за виконання чітко визначеного завдання й оптимізований під власну функцію. OLED-дисплей (рис. 2.10) із роздільною здатністю 128×64 пікселів є основним інтерфейсом візуалізації, що підключається по шині I²C та відображає поточні значення температури, вологості, тиску, рівня газових і пилових забруднень. Завдяки апаратній буферизації й підтримці команд керування контрастом цей модуль гарантує читабельність навіть у яскраво освітлених ділянках цеху та споживає мінімум енергії під час оновлення кадру [11].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

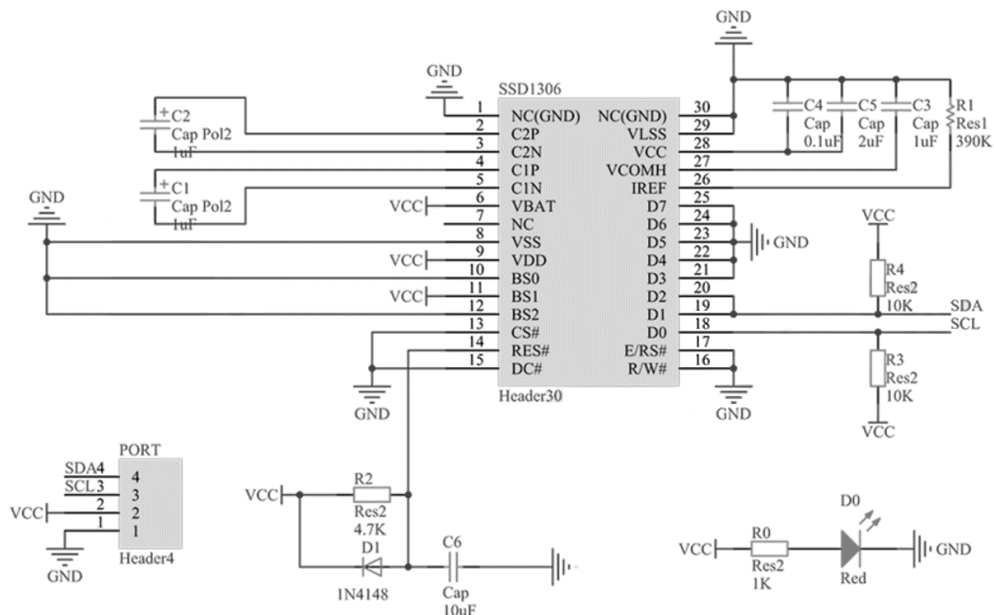


Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова OLED 128x64 Display 1.3

Температурно-вологісний блок на основі сенсора BME280 (рис. 2.11) забезпечує вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску з високою роздільною здатністю і вбудованою компенсацією температурного дрейфу. Інтерфейси I²C та SPI надають гнучкість у виборі схеми підключення, а внутрішні калібрувальні коефіцієнти сенсора знижують потребу в зовнішніх корекційних алгоритмах. Цей вузол розрахований на стабільну роботу у широкому діапазоні температур і вологості, що відповідає експлуатаційним умовам текстильного цеху.

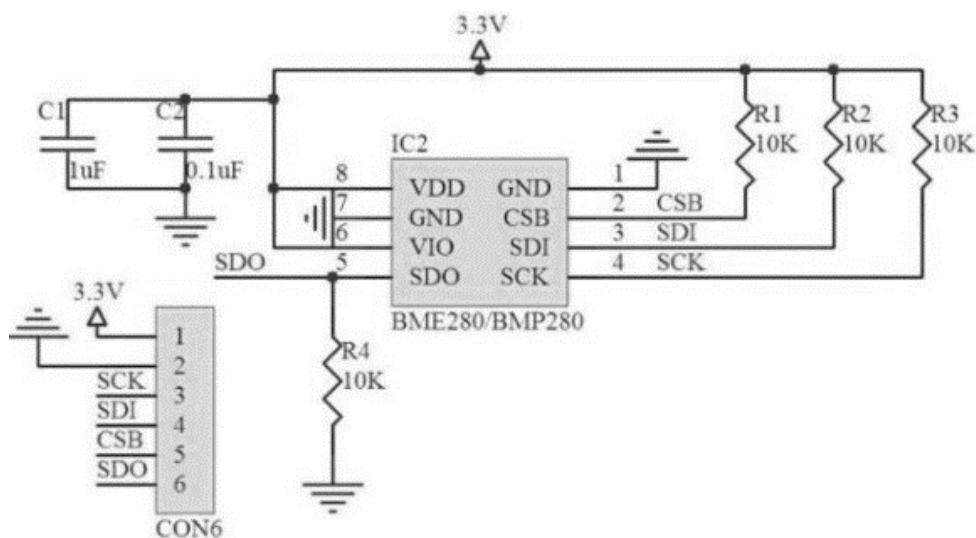


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова сенсора BME280

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Газовий датчик MQ-135 (рис. 2.12) виконує роль попереджувального модуля контролю концентрації летких органічних сполук, аміаку, оксидів азоту та диму. Аналоговий вихід сенсора формується відповідно до інтенсивності хімічних реакцій на поверхні чутливого елемента, після чого значення перетворюється на цифровий формат через внутрішній АЦП контролера. Після початкової фільтрації шуму та компенсації температурної залежності отримані дані використовуються для оцінки якісного стану повітря.

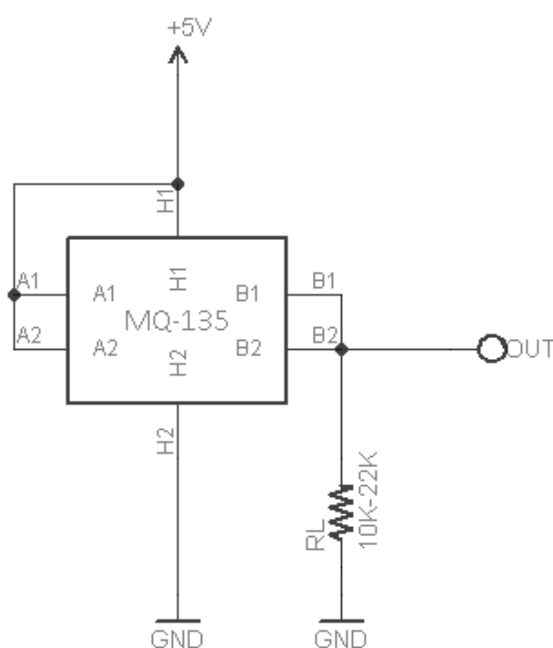


Рисунок 2.12 – Схема електрична принципова сенсора MQ-135

Оптичний модуль GP2Y1014AU0F (рис. 2.13) від Sharp здійснює первинне виявлення пилових часток завдяки розсіянню інфрачервоного світла. Вбудована LED-підсвітка і фотодіод розташовані під оптимальним кутом, що дозволяє формувати аналоговий сигнал, пропорційний концентрації твердої фази. Цей вузол підключається до контролера через 12-розрядний АЦП, а вбудований стабілізатор живлення гарантує коректність роботи при коливаннях вхідної напруги.

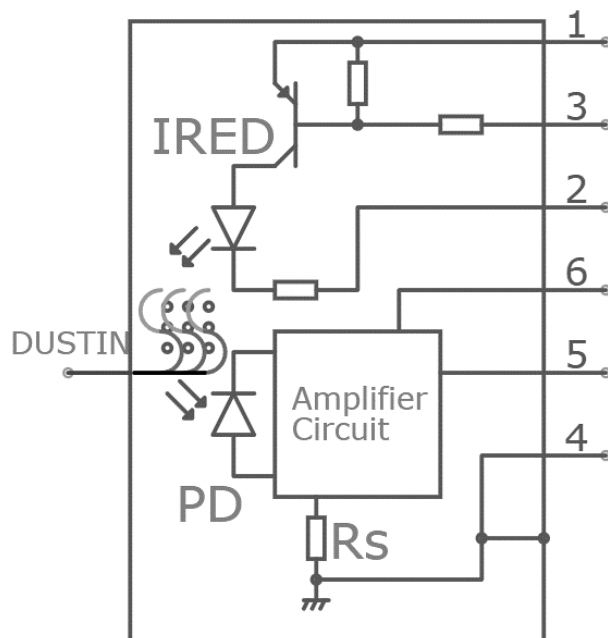


Рисунок 2.13 – Схема електрична принципова сенсора BME280

Лазерний датчик PMS5003 (рис. 2.14) відповідає за детальний розподіл пилових часток за трьома класами – PM1.0, PM2.5 і PM10. Інтегрований в пристрій вентилятор створює стабільний потік повітря через камеру вимірювання, а вбудована схема обробки формує цифрові пакети, які передаються по UART [12] із перевіркою контрольної суми. Цей вузол забезпечує високу точність у реєстрації дрібнодисперсних аерозолів у реальному часі.

Комунікаційний блок на базі модуля LoRa Ra-02 SX1278 у поєднанні з інтерфейсом SPI централізує всі зібрані вимірювання та передає їх на віддалений вузол-приймач. Технологія Chirp Spread Spectrum забезпечує стійкість до перешкод і радіус покриття до кількох кілометрів у промислових умовах, а можливість програмного налаштування частоти й потужності передачі дозволяє оптимізувати канал зв'язку відповідно до конкретних особливостей цеху. Підсумкові пакети даних супроводжуються контрольними сумами й апаратними підтвердженнями прийому, що гарантує цілісність інформації при дистантній передачі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

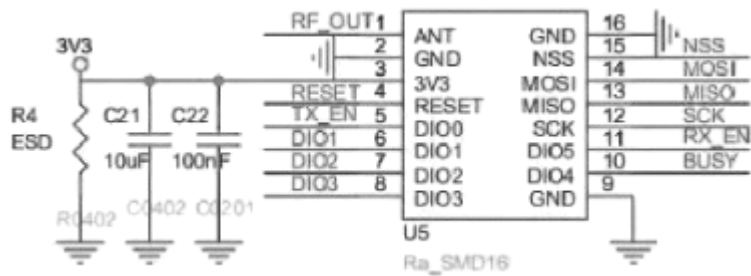


Рисунок 2.14 – Схема електрична принципова модуля LoRa R-02 1278

Вірна реалізація електричних з'єднань (рис. 2.15) між усіма вузлами системи є запорукою стабільної та безперервної роботи моніторингу мікроклімату. На поданій принциповій схемі чітко показано, як кожен компонент поєднується з головним контролером ESP32-WROOM-32D: шина I²C об'єднує термогігрометр BME280 та два OLED-дисплеї, SPI-лінія з'єднує LoRa-модуль SX1278 із мікроконтролером, а UART-порт використовується для обміну даними з лазерним сенсором PMS5003. Оптичний датчик GP2Y1014AU0F підключається до аналогового входу через обмежувальний резистор, а вивід MQ-135 сполучається із другим АЦП, що дає змогу точно вимірювати концентрацію газових домішок.

Схема також враховує особливості харчування: усі сенсори живляться від стабілізованого 3,3 В джерела контролера, а високопродуктивний вузол ESP32 оснащений вбудованим LDO-стабілізатором. Лінії живлення та загальні "землі" об'єднані в одну шинну систему з декількома фільтрувальними конденсаторами різної ємності, що гарантує згладжування пульсацій та підвищує імунітет до перешкод. Антена LoRa підключена до спеціального вивода ANT, а все інше обладнання позначене й промарковане відповідно до його функції.

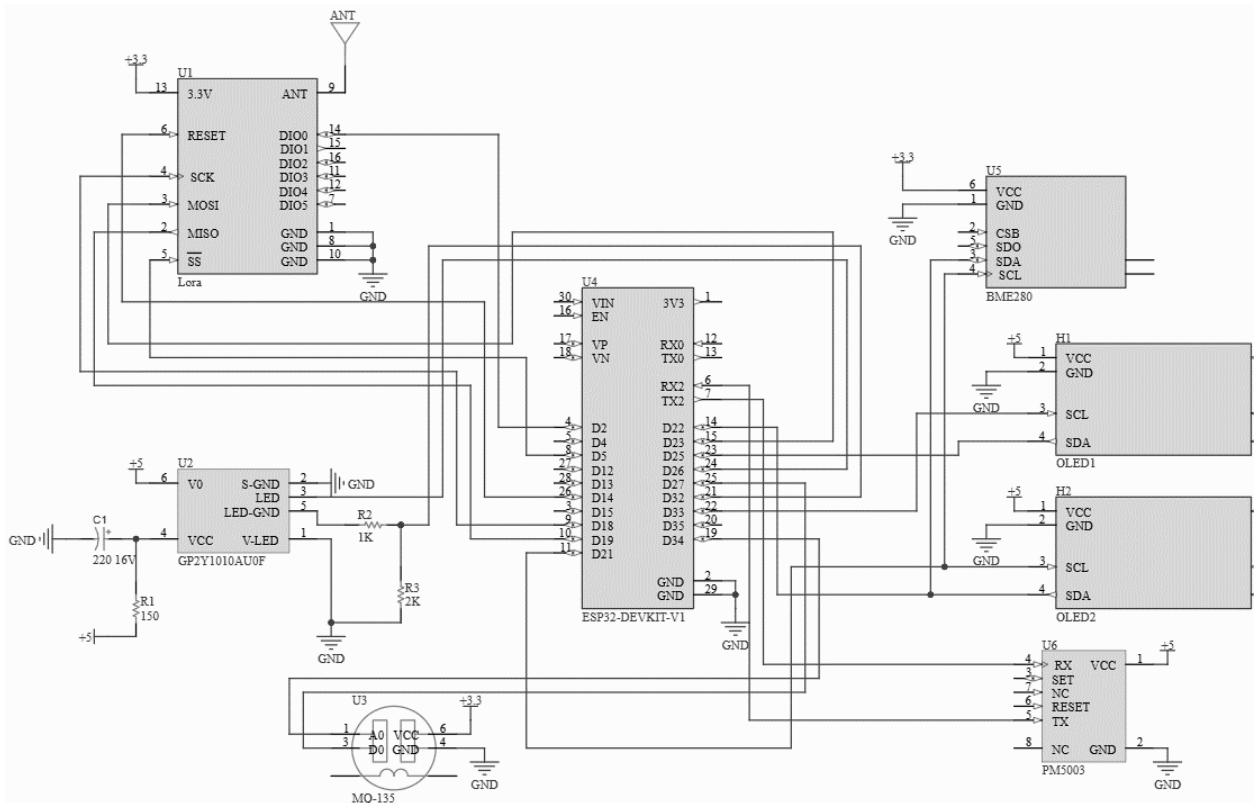


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова системи

2.4 Розробка схеми електричних з'єднань комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Схема електричних з'єднань (рис. 2.16) ілюструє фізичне підключення ESP32 до всіх сенсорів та дисплеїв на макетній платі: термогігрометр BME280 та OLED-дисплеї об'єднані по шині I²C, LoRa-модуль SX1278 та дисплей підключені через SPI, а датчики пилу PMS5003 і GP2Y1014AU0F використовують UART і аналогові входи АЦП відповідно. Живлення всіх вузлів здійснюється від стабілізованого 3,3 В із загальною “землею” та фільтрувальними конденсаторами для згладжування пульсацій.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ

Арк.

34

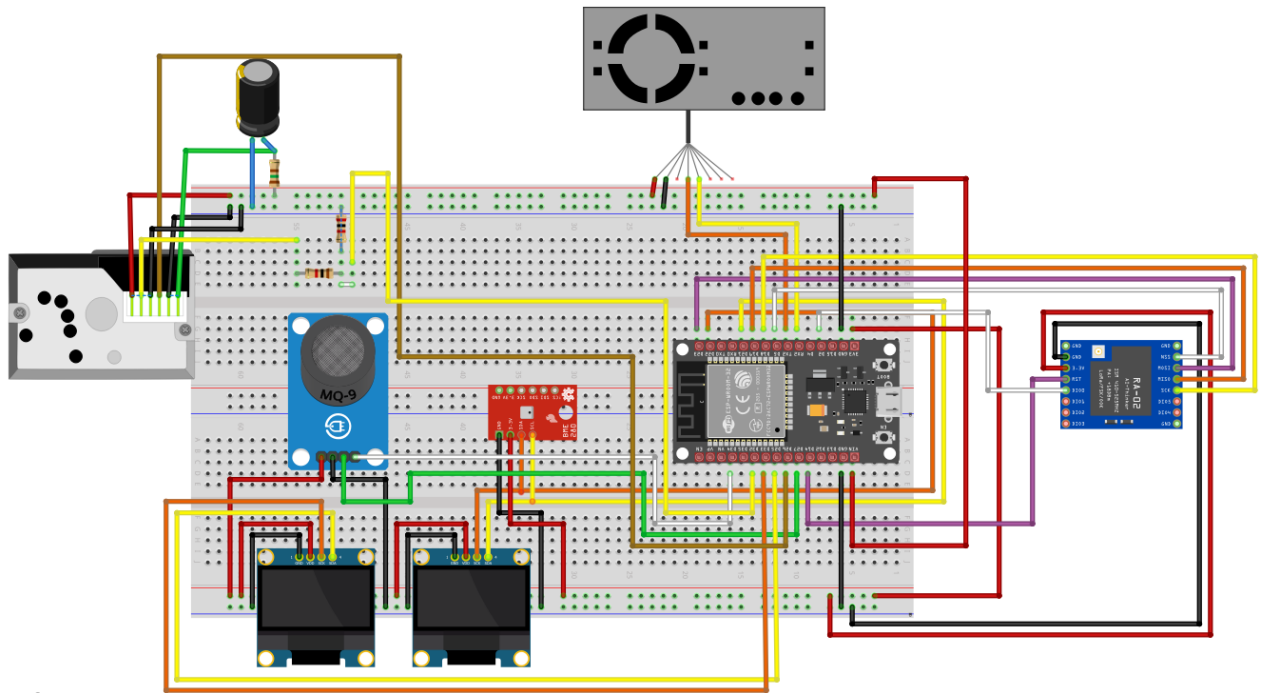


Рисунок 2.16 – Схема електрична з'єднань системи

Інтеграція всіх сенсорів, OLED-дисплеїв, мікроконтролера ESP32 та модуля LoRa відповідно до принципової та монтажною схем забезпечує стабільне живлення, синхронізоване зчитування даних, коректну візуалізацію показників і надійну бездротову передачу телеметрії. Такий підхід гарантує безперебійну роботу системи моніторингу мікроклімату в будь-якому режимі експлуатації та спрощує обслуговування й розширення її функціональності.

2.5 Розробка блок-схеми алгоритму роботи та опис бібліотек комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Розробка блок-схеми алгоритму комп'ютеризованої роботи системи віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості дозволяє структуровано відобразити порядок ініціалізації апаратних інтерфейсів, послідовність опитування сенсорів та обробки вимірних даних. Спочатку визначаються процедури налаштування відлагоджувальних параметрів комунікаційного модуля та дисплеїв, далі –

цикл опитування термогігрометра, газоаналізатора та двоступеневої системи контролю запиленості, після чого виконується фільтрація й калібрування отриманих значень [13].

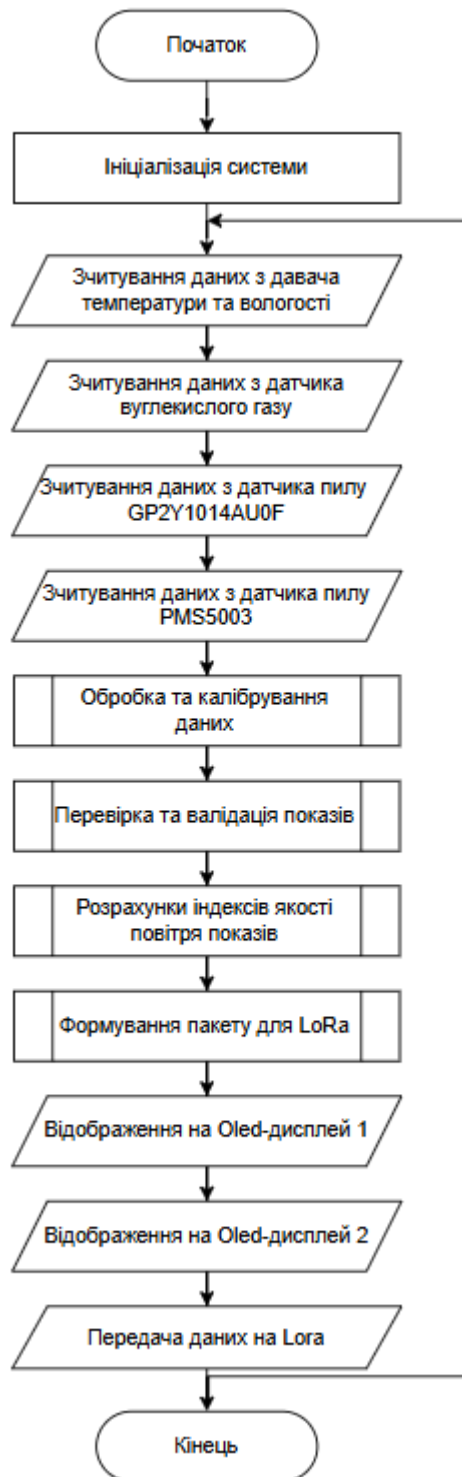


Рисунок 2.17 – Блок-схеми алгоритму роботи комп’ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Наступним етапом формується візуальний кадр для OLED-екранів із поділом на нормальний, попереджувальний та аварійний режими, а також пакети даних для бездротової передачі через LoRa. Графічне відображення умовних переходів – наприклад, реакції на відмову зв'язку чи перевищення встановлених порогів – спрощує аналіз коректності логіки і дозволяє легко масштабувати архітектуру при додаванні нових вузлів або модулів обробки. Таким чином, блок-схема алгоритму є фундаментальним інструментом для верифікації, тестування та подальшого розвитку програмного забезпечення системи.

Після завершення початкової ініціалізації апаратних інтерфейсів та налаштування параметрів зв'язку, головна програма переходить у безкінечний цикл опитування, у якому кожен сенсор викликається за визначеним інтервалом. Спочатку ініціюється зчитування цифрових даних із термогігрометра, де сирі значення температури та вологості одразу коригуються за допомогою коефіцієнтів калібрування, збережених у внутрішній пам'яті модуля, після чого застосовується алгоритм усереднення за рухомим вікном, що згладжує короточасні коливання показників. Схожа процедура запуску та обробки відбувається для газового датчика, де аналоговий сигнал перетворюється в концентрацію за емпіричною формулою, а під час обчислень враховується температурний коефіцієнт чутливості для підвищення коректності результату.

Контроль запиленості проводиться в два етапи: спочатку опитування GP2Y1014AU0F, де виміряне значення напруги з фотодіода надходить у фільтр нижніх частот, що усуває імпульсні перешкоди, а потім концентровані дані передаються до розрахунку популяційної концентрації частинок. Далі PMS5003, маючи власний вентиляторний насос, генерує стабільний потік повітря через камеру вимірювання, і вбудований мікроконтролер датчика формує цифровий пакет, що містить розподіл частинок за трьома класами (PM1.0, PM2.5 і PM10). Передача цього пакета в основний контролер

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

відбувається через UART із перевіркою контрольної суми, що запобігає некоректному зчитуванню в разі шумових сплесків.

Після накопичення даних із усіх сенсорів запускається блок умовної обробки, який порівнює поточні показники з заданими порогоми і готує структуру для візуалізації на OLED-дисплеях. У цьому модулі застосовується двоступенева логіка: для кожного параметра спочатку визначається поточний стан, а потім формується графічне представлення у вигляді цифрових значень. Одночасно формується кадр даних для бездротової передачі через LoRa, де інформація упаковується у компактний пакет із заголовком, корисним навантаженням і полем контрольної суми.

Модуль зв'язку реалізує асинхронний протокол передачі з повторними спробами відправки у разі відсутності підтвердження від приймача. Коли передача успішна, система переходить до режиму сну або очікування, економлячи енергію до наступного циклу опитування. В разі помилки зв'язку активується механізм аварійного кешування, який зберігає необроблені дані у внутрішньому буфері, а при відновленні зв'язку відбувається дозавантаження накопичених пакетів. Така реалізація алгоритму забезпечує безперервність збору інформації та стійкість системи до зовнішніх збурень [14].

Для розробки програмного забезпечення комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах було задіяно такі бібліотеки:

- Arduino.h – базовий фреймворк платформи Arduino, який містить функції ініціалізації апаратних ресурсів, циклічних викликів `setup()` та `loop()`, а також засоби для роботи з цифровими і аналоговими виводами, таймерами та серіальним портом.
- Wire.h – реалізує інтерфейс I²C, необхідний для обміну даними з термогігрометричним сенсором і OLED-дисплеями; забезпечує майстер-слейв архітектуру та конфігурацію швидкості шини.

- SPI.h – надає можливість налаштування та керування інтерфейсом SPI, за допомогою якого відбувається обмін із модулями LoRa та OLED-екранами з високою пропускнуою здатністю.

- U8g2lib.h – універсальна бібліотека для графічних дисплеїв, що підтримує апаратне буферування, малювання примітивів й тексту, а також керування контрастом і інвертуванням дисплея в умовах змінного освітлення.

- Adafruit_Sensor.h – стандартизований абстрактний шар для роботи з різними сенсорами, що спрощує єдину обробку даних і забезпечує уніфіковані інтерфейси для читання значень.

- Adafruit_BME280.h – реалізує механізми ініціалізації та зчитування датчика BME280, включаючи калібрувальні коефіцієнти, компенсацію температурно-залежних помилок і функції отримання вимірів температури, вологості й тиску.

- MQSensor.h – призначена для роботи з газовими сенсорами серії MQ; містить алгоритми перетворення аналогових показань у концентрації газів із урахуванням типових характеристик модулів і температурної компенсації.

- LoRa.h – забезпечує простий API для налаштування модуля SX1278, включаючи параметри частоти, потужності передачі й швидкості модуляції, а також функції відправки та прийому пакетів із контролем підтвердження.

2.6 Обґрунтування вибору мови програмування

Вибір мови програмування для реалізації вбудованої системи моніторингу мікроклімату обґрунтовується декількома ключовими факторами: ефективністю виконання на ресурсно-обмежених апаратних платформах, наявністю широкого спектру готових бібліотек для роботи з сенсорними модулями та бездротовими протоколами, а також простотою

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

супроводу й розвитку коду. Серед доступних варіантів найбільш доцільним виявився C/C++ у середовищі Arduino, адже ця комбінація дає можливість безпосередньо працювати з периферією мікроконтролера, зберігаючи контроль над витратами оперативної пам'яті та циклічними затримками. Підхід із компіляцією в машинний код гарантує високу швидкість, що є критичним для обробки потоку даних від термогігрометра, лазерного та оптичного датчиків пилу в реальному часі, а також для своєчасної відправки пакетів через LoRa.

Крім продуктивності, важливим аспектом стала велика спільнота розробників та багата екосистема готових рішень у вигляді упакованих бібліотек для BME280, MQ-серії газоаналізаторів, OLED-дисплеїв і LoRa-модулів. Це значно скоротило час розробки, мінімізувало ризик помилок під час налаштування апаратних інтерфейсів і спростило реалізацію складних алгоритмів калібрування даних та організації бездротового обміну. Окрім того, можливість віддаленого оновлення прошивки (OTA) та підтримка різних рівнів оптимізації під час компіляції дозволяють легко масштабувати програму та адаптувати її під майбутні апаратні платформи, зберігаючи впроваджені механізми захисту й обробки даних. Такий вибір мови сприяє не лише високій надійності та стійкості системи, але й забезпечує зручність подальшого розвитку та підтримки програмного забезпечення.

2.7 Опис шин обміну даними

У системі для моніторингу мікроклімату в цехах застосовується кілька видів шин даних, кожна з яких оптимізована під специфіку підключених модулів та вимоги до швидкості, надійності й енергоефективності. Інтерфейс I²C використовується для зчитування даних із сенсорів температури, вологості та тиску, а також для керування OLED-дисплеєм. Ця шина дозволяє об'єднати декілька пристроїв на двох проводах, реалізувати адресний доступ та

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організувати апаратне підпитування ліній SDA і SCL, що забезпечує стабільність обміну інформацією навіть в умовах електромагнітних завад виробничих приміщень. Завдяки підтримці режимів Standard-Mode (100 кбіт/с) і Fast-Mode (400 кбіт/с), інтерфейс I²C може одночасно обробляти потік даних кількох вузлів із відносно невеликими об'ємами інформації.

Для високошвидкісного обміну з модулями радіозв'язку та графічними екранами застосовується шина SPI, яка забезпечує повнодуплексну передачу та дозволяє досягати частоти тактування в декілька мегагерц. Використання окремих ліній MOSI, MISO та SCK із незалежними лініями вибору підключеного пристрою (CS) дає змогу успішно масштабувати архітектуру, під'єднуючи додаткові SPI-сумісні компоненти без ризику конфліктів на шині. Апаратура SPI підтримує різні режими полярності та фази тактових імпульсів, що робить її гнучкою для налагодження швидкого та надійного зв'язку в умовах перешкод.

Асинхронний порт UART задіяний для обміну з лазерним датчиком запиленості та іншими модулями, що формують послідовні пакети даних із контрольними сумами. Цей протокол, що працює на стандартних швидкостях до 115 200 бод, забезпечує надійну передачу інформації в одному напрямку за мінімальної кількості ліній (RX/TX) і легко інтегрується в апаратну платформу. Механізми апаратної перевірки помилок і буферизації даних в мікроконтролері гарантують, що втрати даних у разі короткочасних завад будуть мінімальними, а вбудовані апаратні FIFO зменшують навантаження на основний процесор під час інтенсивного обміну.

Для бездротового зв'язку система застосовує LoRa, що забезпечує дальність до кількох кілометрів із низьким енергоспоживанням. Налаштування через SPI реєстри дозволяє інтегрувати локальну й глобальну мережі, зберігаючи стабільність зв'язку навіть у складних умовах.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ

3.1 Реалізація програмної частини комп'ютеризованої системи для віддаленого моніторингу мікроклімату

Програмне забезпечення системи моніторингу мікроклімату реалізовано за процедурно-модульним підходом із чітким розподілом відповідальності між стартовою ініціалізацією, роботою сенсорів, передачею даних та індикацією. На початку файлу підключаються всі необхідні бібліотеки й оголошуються константи номерів пінів для OLED-дисплеїв, сенсорів та LoRa-модуля, що забезпечує читабельність і швидкий пошук точок зміни апаратної конфігурації (рис 3.1).

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <U8g2lib.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <MQSensor.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#define OLED1_SDA 21
#define OLED1_SCL 22
#define OLED2_SDA 25
#define OLED2_SCL 33
#define MQ135_PIN 34
#define DUST_LED_PIN 26
#define DUST_PIN 35
#define PMS_RX 16
#define PMS_TX 17
#define LORA_SS 5
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 2
```

Рисунок 3.1 – Лістинг підключення бібліотек і оголошення апаратних інтерфейсів

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Програмування та тестування віддаленого моніторингу мікроклімату					
Розроб.	Лазута Р.В.							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Лецишин Ю.З.								42	
Реценз.	Гром'як Р.С.							ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.	Тиш Є. В.									
Затверд.	Осухівська Г.М.									

У функції `setup()` відбувається конфігурація інтерфейсів та попередня перевірка периферії. Спочатку ініціалізується серійний порт для діагностики, потім апаратний I²C для першого OLED і сенсора BME280, після чого дисплеї послідовно виводять статус “Init OLED1” та “Init OLED2” із використанням бібліотеки U8g2. Далі запускається BME280 через `bme.begin(0x76)` з перевіркою результату, виконується калібрування MQ-135 (`mq135.calculateR0()`), налаштовуються GPIO для оптичного датчика пилу та UART для PMS5003, а на завершення через SPI відбувається апаратне скидання та конфігурація LoRa-модуля з обрізкою частоти, потужності й інших параметрів (рис. 3.2).

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(OLED1_SDA, OLED1_SCL);
  oled1.begin(); oled1.clearBuffer();
  oled1.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
  oled1.drawUTF8(0,24,"Init OLED1"); oled1.sendBuffer();
  oled2.begin(); oled2.clearBuffer();
  oled2.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
  oled2.drawUTF8(0,24,"Init OLED2"); oled2.sendBuffer();
  if (!bme.begin(0x76)) { Serial.println("BME280 fail"); while
    (1); }
  mq135.calculateR0(10);
  pinMode(DUST_LED_PIN, OUTPUT); digitalWrite(DUST_LED_PIN,
    HIGH);
  SerialPMS.begin(9600, SERIAL_8N1, PMS_RX, PMS_TX);
  SPI.begin(18, 19, 23);
  pinMode(LORA_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(LORA_RST, LOW); delay(10);
  digitalWrite(LORA_RST, HIGH); delay(10);
  LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
  LoRa.begin(LORA_FREQ);
  LoRa.setTxPower(14);
  LoRa.setSpreadingFactor(7);
  LoRa.setSignalBandwidth(125E3);
  LoRa.setCodingRate4(5);
  lastDisplaySwitch = millis();
  lastTx              = millis();
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг ініціалізації апаратних модулів у `setup()`

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Цикл `loop()` починається з вимірювань: через `bme.readTemperature()` і `bme.readHumidity()` отримуються кліматичні параметри, потім викликається `mq135.readPPM()` із коефіцієнтами, що переводять вихідний опір у ppm забруднювачів. Оптичний сенсор GP2Y1014AU0F освітлюється коротким імпульсом LED, зчитується аналоговий рівень з A0, конвертується в напругу та в кінці формули виходить концентрація пилю. Функція `readPMS(pm1, pm25, pm10)` обробляє UART-потік від PMS5003, перевіряє заголовки й довжину пакету та витягує дані про фракції часток (рис. 3.3).

```

temperature = bme.readTemperature();
humidity     = bme.readHumidity();
co2ppm      = mq135.readPPM(MQ_A, MQ_B);
digitalWrite(DUST_LED_PIN, LOW);
delayMicroseconds(280);
int raw = analogRead(DUST_PIN);
delayMicroseconds(40);
digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);
float V = raw / 4095.0f * 3.3f;
dustmg = max(0.0f, (V - 0.6f) / 0.005f);
readPMS(pm1, pm25, pm10);

```

Рисунок 3.3 – Лістинг зчитування та первинна обробка даних із сенсорів

Для передачі телеметрії застосовується перевірка інтервалу за `millis()`, після чого формується пакет через `LoRa.beginPacket()`, в який послідовно друкуються всі значення з заданою точністю, і надсилається викликом `LoRa.endPacket()`. Після цього виводиться повідомлення в серійний монітор для підтвердження успіху операції (рис. 3.4).

```

if (millis() - lastTx >= TX_INTERVAL) {
    lastTx = millis(); LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(temperature, 1); LoRa.print(', ');
    LoRa.print(humidity, 1);    LoRa.print(', ');
    LoRa.print((unsigned long)co2ppm); LoRa.print(', ');
    LoRa.print(dustmg, 1);      LoRa.print(', ');
    LoRa.print(pm1);           LoRa.print(', ');
    LoRa.print(pm25);          LoRa.print(', ');
    LoRa.print(pm10);
    LoRa.endPacket();
    Serial.println("LoRa: sent readings");}

```

Рисунок 3.4 – Лістинг передача даних через LoRa

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Останній блок циклу відповідає за оновлення індикації на двох OLED-дисплеях: за допомогою бітової операції (((`millis()/DISPLAY_INTERVAL`) & 1)) визначається, який екран активний. Перший дисплей виводить показники PM1.0, PM2.5 і PM10, другий – температуру, вологість та CO₂ у ppm, використовуючи метод `drawUTF8` для коректного відображення кирилиці та цифрових значень (рис. 3.5).

```
bool showPMS = ((millis() / DISPLAY_INTERVAL) & 1) == 0;
if (showPMS) {
    oled1.clearBuffer();
    oled1.setFont(u8g2_font_ncenB10_tr);
    oled1.drawUTF8(0,16, String("PM1.0:"+String(pm1)+"
        ug/m3").c_str());
    oled1.drawUTF8(0,32, String("PM2.5:"+String(pm25)+"
        ug/m3").c_str());
    oled1.drawUTF8(0,48, String("PM10 :"+String(pm10)+"
        ug/m3").c_str());
    oled1.sendBuffer();
} else {
    oled2.clearBuffer();
    oled2.setFont(u8g2_font_ncenB10_tr);
    oled2.drawUTF8(0,16, String("T:"+String(temperature,1)+"C
        H:"+String(humidity,1)+"%").c_str());
    oled2.drawUTF8(0,32, String("CO2:"+String((unsigned
        long)co2ppm)+" ppm").c_str());
    oled2.drawUTF8(0,48, String("D :"+String(dustmg,1)+"
        mg/m3").c_str());
    oled2.sendBuffer();
}
delay(200);
```

Рисунок 3.5 – Лістинг оновлення індикації на OLED-дисплеях і затримка циклу

Такий послідовний розподіл коду на окремі блоки – ініціалізація, зчитування, передача та індикація – спрощує налагодження, масштабування і супровід програмної частини, роблячи її прозорою як для розробників, так і для майбутньої технічної документації.

Програмна логіка приймача на базі ESP32 із модулем LoRa побудована за процедурно-модульним принципом і складається з двох основних блоків: ініціалізації периферії та обробки вхідних пакетів . Наприкінці списку

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

підключаються загальні бібліотеки та визначаються пін-виходи для інтерфейсів LoRa-модуля, що робить код компактним і дозволяє швидко адаптувати його під інші плати чи частоти (рис. 3.6).

```
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

// LoRa SX1278 → ESP32
#define LORA_SS      5    // Chip Select
#define LORA_RST    21   // Reset
#define LORA_DIO0   15   // IRQ
#define LORA_FREQ   433E6
```

Рисунок 3.6 – Лістинг підключення бібліотек та оголошення апаратних інтерфейсів приймача

У функції `setup()` виконується запуск серійного порту, конфігурація апаратного SPI з фіксованими лініями SCK/MISO/MOSI, апаратне скидання модуля Ra-02 та виклик `LoRa.begin()` із заданою частотою. У разі успіху виводиться підтверджувальне повідомлення, а виклик `LoRa.receive()` переводить пристрій у режим очікування пакета (рис. 3.7).

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);

  SPI.begin(18, 19, 23);
  pinMode(LORA_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(LORA_RST, LOW); delay(10);
  digitalWrite(LORA_RST, HIGH); delay(10);

  LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
  if (!LoRa.begin(LORA_FREQ)) {
    Serial.println("LoRa init failed!");
    while (1) delay(100);
  }
  Serial.println("LoRa RX ready @433 MHz");
  LoRa.receive();
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг ініціалізації SPI, апаратний RESET та запуск LoRa у режимі прийому

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Цикл `loop()` неперервно перевіряє наявність вхідного пакета через `LoRa.parsePacket()`. Якщо розмір пакета більше нуля, дані зчитуються по байту і виводяться на серійний порт у вигляді символів [15]. Після обробки кожного пакета викликається `LoRa.receive()` для повернення в режим очікування, а коротка затримка `delay(10)` дає шині час стабілізуватися перед наступним циклом (рис. 3.8).

```
void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize > 0) {
    Serial.print("← Received (");
    Serial.print(packetSize);
    Serial.print(" bytes): ");
    while (LoRa.available()) {
      Serial.print((char)LoRa.read());
    }
    Serial.println();
  }
  LoRa.receive();
  delay(10);
}
```

Рисунок 3.8 – Лістинг обробки прийому пакетів, вивід у серіал і повернення в RX-режим

Такий розподіл на блоки ініціалізації та нескінченний цикл обробки забезпечує мінімальну затримку при прийомі даних та спрощує масштабування приймача: достатньо змінити лише номери пінів або частоту LoRa, не торкаючись основної логіки.

3.2 Реалізація апаратної частини моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості

Апаратна реалізація системи моніторингу мікроклімату спроектована з урахуванням вимог до надійності, універсальності та швидкого обслуговування. Центральним елементом є модуль ESP32-WROOM-32D, що відповідає за координування зчитування даних із сенсорів, локальну обробку

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

та передачу телеметрії по LoRa. Живлення та сигналізація організовані так, щоб кожний вузол був максимально незалежним і легко змінювався при умовах несправності.

На рисунку 3.9 представлено вузол лазерного датчика PMS5003, де всі контакти спаяні на невеликому адаптері з перетворенням роз'єму модуля 1 мм на звичні штифтові виводи 2,54 мм. Для з'єднання застосовано та нанесено шар епоксидної смоли, що забезпечує надійний захист від вологи, пилу та вібрацій у виробничому середовищі, а також виключає можливість випадкового розмикання чи замикання проводів.

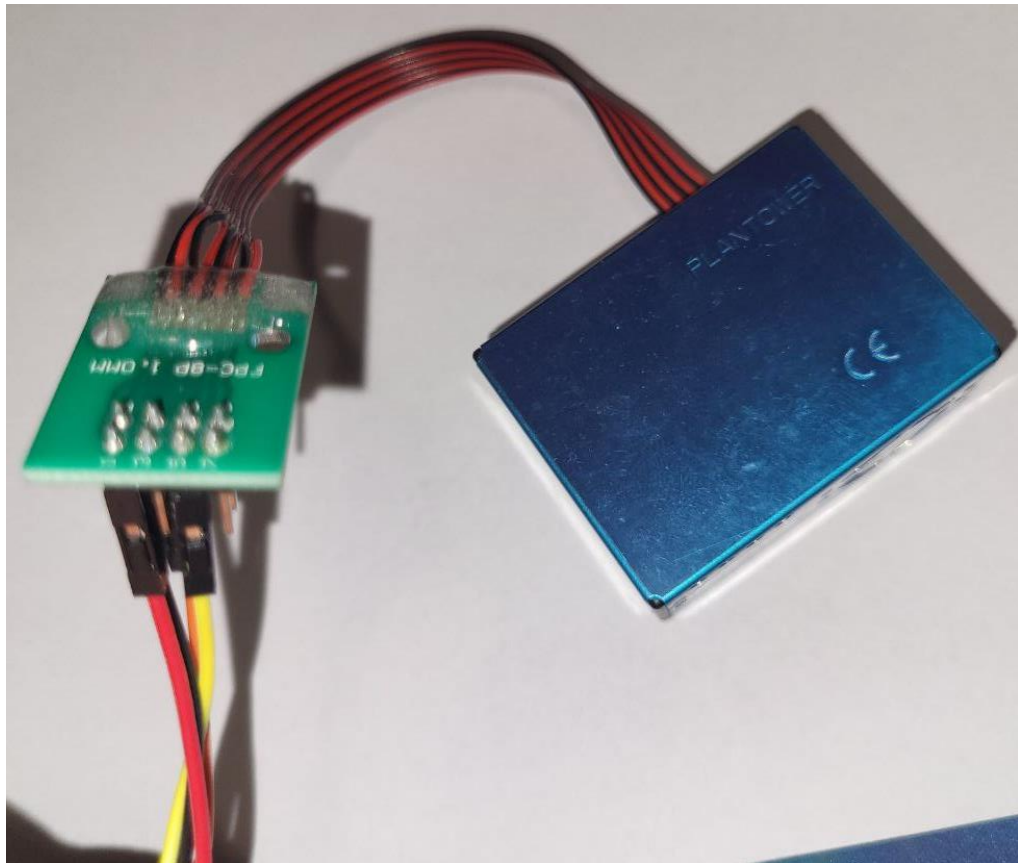


Рисунок 3.9 – Під'єднання датчика PMS5003

Апаратний макет вимірювального вузла змонтовано на стандартній макетній платі, що забезпечує гнучке розміщення й легкий доступ до всіх сенсорів і інтерфейсів (рис. 3.10). У центрі розташовано плату ESP32-WROOM-32D, від якої прямують сигнальні дроти до цифрових і

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналогових датчиків: термогігрометр VME280 і газовий сенсор MQ-135 працюють від стабілізованої шини 3,3 В через I²C та АЦП, а лазерний модуль PMS5003 та оптичний датчик GP2Y1014AU0F живляться від окремого 5 В каналу живлення для забезпечення їхнього вентилятора та LED-підсвітки. Лінії UART та I²C акуратно розведені, а місця підключень додатково захищені термоусадковими трубками, що мінімізує вплив вібрації та пилу у виробничому середовищі.

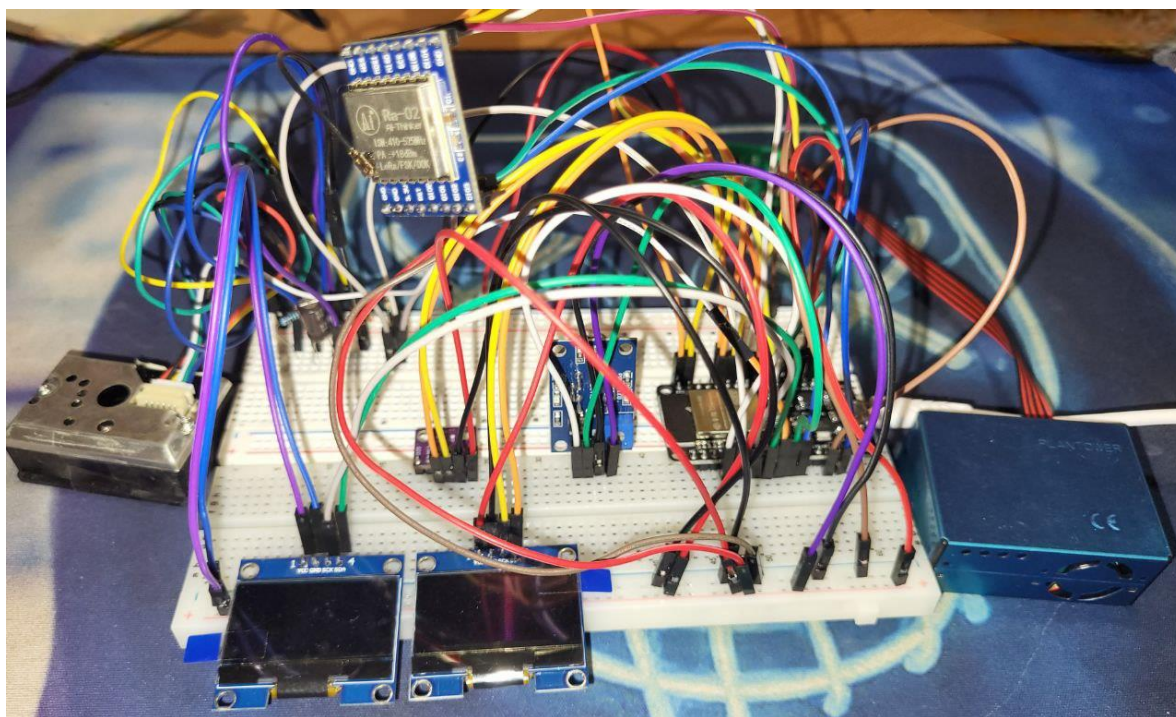


Рисунок 3.10 – Макет комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату

У лівому нижньому куті макета встановлено два OLED-дисплеї для паралельної візуалізації пилових і мікрокліматичних параметрів, підключені до двох незалежних I²C-каналів, що дозволяє перемикати відображення без конфліктів на шині. Модуль LoRa Ra-02 SX1278 розташовано у верхній частині плати та з'єднано через SPI, а його антена винесена назовні для оптимального прийому [16]. Живильні шини 3,3 В і 5 В прокладені по окремих рельсах макетної плати з групою фільтрувальних конденсаторів у ключових

точках, що гарантує стабільність напруги та стійкість до завад під час інтенсивних циклів передачі й прийому даних.

Приймальний модуль побудовано навколо плати ESP32-WROOM-32D (рис. 3.11), змонтованої на макетній панелі, і радіомодуля LoRa Ra-02 SX1278, який підключено до ESP32 через апаратний інтерфейс SPI та сигнал переривання DIO0. Лінії SCK, MISO та MOSI з'єднані прямо з відповідними пін-контактами ESP32, дріт невеликої довжини мінімізує індуктивні й ємнісні затримки. Лінія CS (GPIO5) керує вибором пристрою на шині SPI, а DIO0 (GPIO15) використовується для переривань у момент приходу нового пакета даних. Контакт RST (GPIO21) апаратно скидає модуль LoRa під час запуску, гарантує стабільний старт.

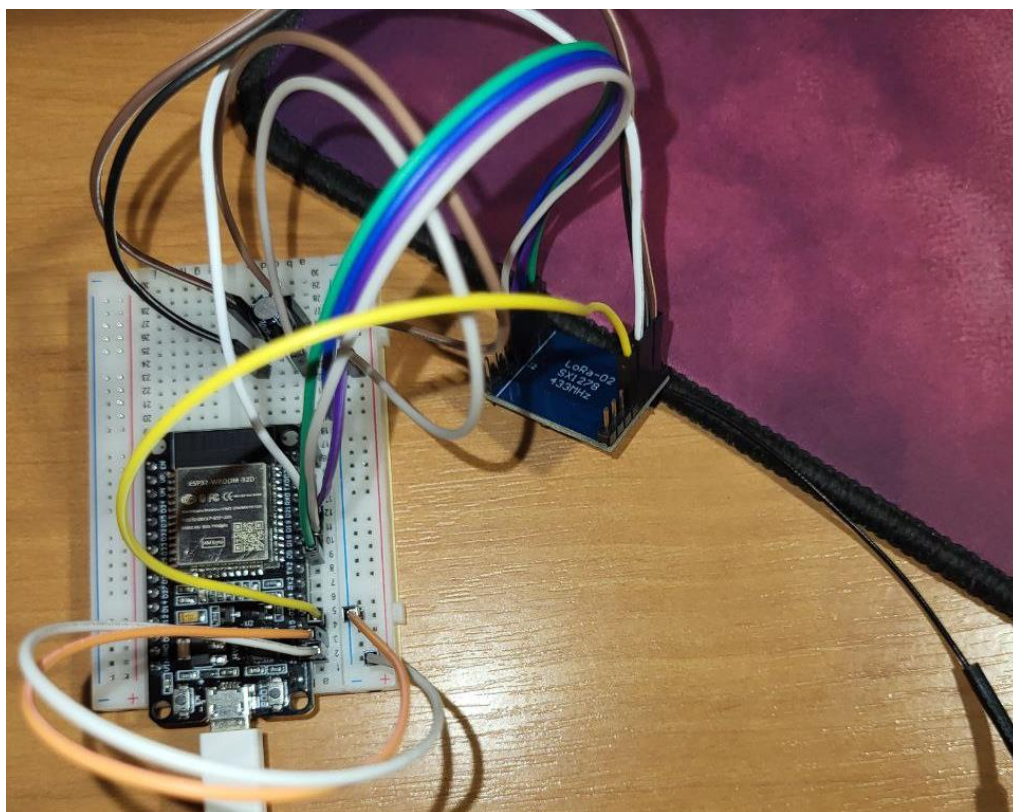


Рисунок 3.11 – Макет установки приймального пристрою

Живлення LoRa-модуля (VCC і GND) підведено від 3,3 В і загальної “землі” ESP32, що забезпечує його правильну роботу в діапазоні 410–525 МГц. Антену виведено назовні через коаксіальний роз’єм або прищіпку, що дає

зможу адаптувати параметри зв'язку під конкретні умови цеху. USB-кабель, підключений до ESP32, одночасно живить плату й відкриває серійний порт 115 200 бод для налагодження.

У цілому, апаратна складова системи побудована з урахуванням простоти монтажу, надійності контактів та гнучкості розширення. Використання єдиної макетної платформи з чітким розподілом шин живлення й даних, стандартизованих інтерфейсів I²C, SPI і UART, а також модульної архітектури дає змогу оперативно додавати нові сенсори та модулі без переробки базового каркасу. Такий підхід забезпечує стійку роботу в умовах текстильного цеху, легке обслуговування й перспективу масштабування мережі моніторингу.

Таким чином, два взаємодіючі вузли – польовий модуль з ESP32 та набором сенсорів і приймальний модуль на базі другої ESP32 із LoRa – формують єдину розподілену систему моніторингу. Перший збирає та обробляє дані про температуру, вологість, концентрації газів і пилу, а другий надійно отримує й передає їх до ПК для подальшого аналізу і візуалізації. Така архітектура забезпечує безперервний збір інформації на відстані, мінімальне енергоспоживання та можливість масштабування без перебудови апаратної бази.

3.3 Налаштування та тестування системи

Для початку налаштування системи необхідно встановити інтегроване середовище розробки Arduino IDE та додати підтримку мікроконтролера ESP32: у “Менеджері плат” вибирається пакет “esp32 by Espressif Systems”, після чого серед доступних плат з’являється “ESP32 Dev Module”. Одразу після інсталяції слід встановити бібліотеку LoRa через “Менеджер бібліотек”, щоб у проекті стали доступні класи для роботи із SX1278 (рис. 3.12). Під’єднання приймача або передавача до ПК здійснюється за допомогою USB-кабелю, а в налаштуваннях середовища обирається відповідний COM-порт та

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

швидкість 115200 бод. Перший завантажений скетч перевіряє коректність ініціалізації всіх інтерфейсів: на OLED-дисплеях з'являються повідомлення про старт модулів, що свідчить про успішне налаштування SPI та UART для датчиків.

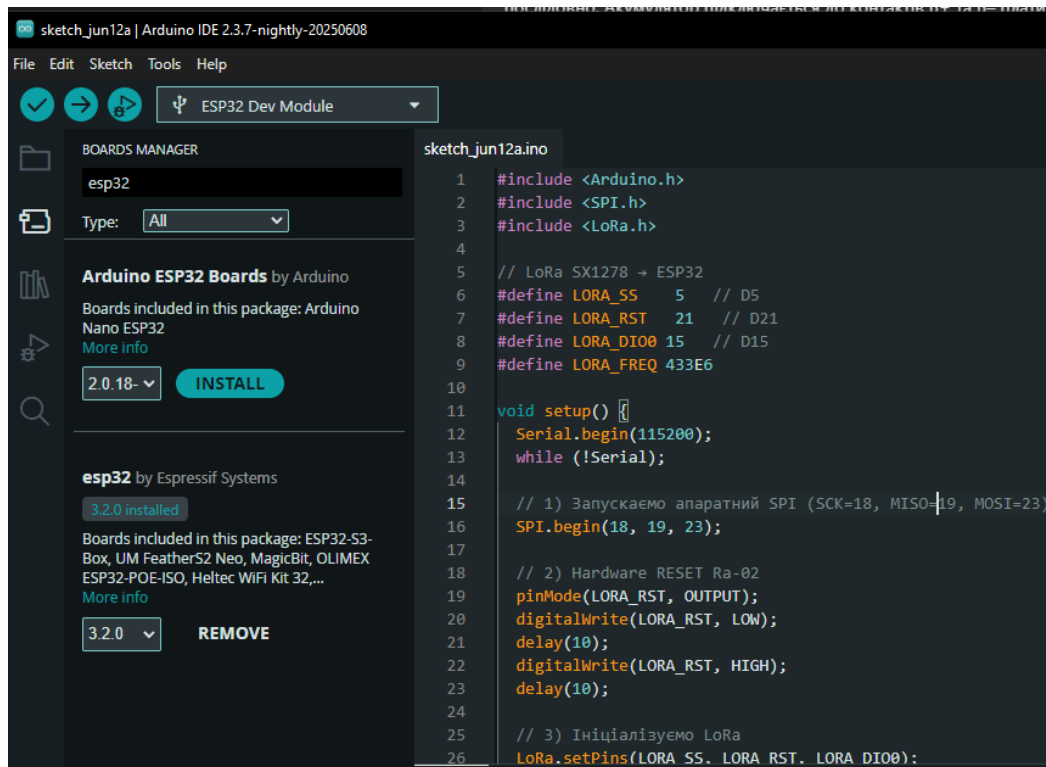


Рисунок 3.12 – Налаштування середовища Arduino IDE для роботи з ESP32

Після успішного завантаження прошивки проводиться послідовне тестування кожного вузла системи. Спершу перевіряється робота термогігрометра та газового сенсора: у середовищі Arduino IDE через серійний монітор спостерігаються поточні значення температури, вологості та ppm CO₂, які зростають чи зменшуються залежно від штучного нагрівання або подавання зразка із забрудненим повітрям. Далі активується оптичний вузол GP2Y1014AU0F, і при ввімкненні LED-підсвітки на дисплеї фіксується зміна величини dustmg, а лазерний PMS5003 проходить тест через виклик функції readPMS(), яка повертає розподіл часток PM1.0/PM2.5/PM10. Кожен з цих тестів супроводжується показами на OLED-екранах і виводом у серіал для подальшого збереження логів (рис. 3.13). Після цього зібрані показники

упаковуються в телеметричні пакети та передаються по бездротовому каналу LoRa, де інша плата в режимі прийому приймає ці дані і відображає їх у серійному моніторі приймача.

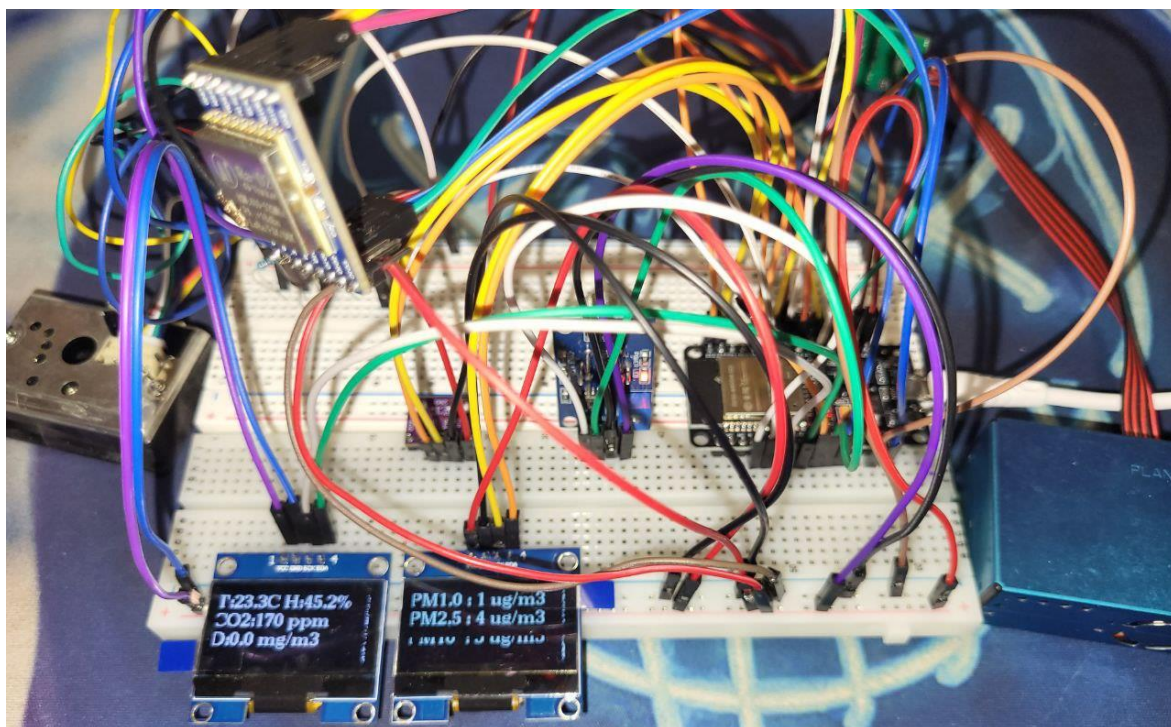


Рисунок 3.13 – Відображення даних на OLED-дисплеї

Після кожної відправки датчикові вузлами інформація пакується у компактний бездротовий пакет і передається з використанням протоколу LoRa. Приймальна плата на базі ESP32 у режимі постійного моніторингу LoRa-каналу негайно фіксує надходження сигналу та обробляє весь набір байтів, забезпечуючи коректне відновлення первинних показників [17]. Після успішного прийому в серійному моніторі відображається повідомлення про обсяг даних у пакеті (наприклад, “Received (25 bytes):”), яке свідчить про цілісність та повноту прийнятої інформації (рис. 3.14).

Далі виводиться впорядкована послідовність числових значень, розділених комами, у чітко визначеному порядку: температура в градусах Цельсія, відносна вологість у відсотках, умовна концентрація CO₂ в ppm, запиленість у мг/м³ та три фракції зважених часток PM1.0, PM2.5 і PM10 у

мікрограмах на кубічний метр. Такий формат виводу здатен стати основою для побудови автоматизованих систем логування, подальшої обробки даних або інтеграції з SCADA й іншими рішеннями для аналітики, що дозволяє в реальному часі відстежувати стан мікроклімату в промисловому цеху.

```
← Received (25 bytes): 22.2,55.7,81,0.0,25,35,41
← Received (25 bytes): 22.2,55.7,78,0.0,25,37,44
← Received (25 bytes): 22.2,55.7,73,0.0,25,36,41
← Received (25 bytes): 22.3,55.7,78,0.0,25,37,41
← Received (25 bytes): 22.3,55.6,81,0.0,25,35,41
← Received (25 bytes): 22.3,55.6,79,0.0,25,35,42
← Received (25 bytes): 22.3,55.6,82,0.0,24,35,41
← Received (25 bytes): 22.3,55.5,80,0.0,24,35,40
← Received (25 bytes): 22.3,55.5,74,0.0,24,35,40
← Received (25 bytes): 22.3,56.9,73,0.0,24,34,40
← Received (25 bytes): 22.3,56.5,79,0.0,24,34,40
← Received (25 bytes): 22.3,56.2,82,0.0,24,34,41
← Received (25 bytes): 22.3,56.2,77,0.0,25,35,40
```

Рисунок 3.14 – Демонстрація формат прийнятого по LoRa пакета

Таке текстове представлення дозволяє одразу переконатися в коректності зв'язку та цілісності даних, а також сприяє простій інтеграції з системами логування й подальшого аналізу. Завдяки єдиному формату вивід легко парситься сторонніми додатками або скриптами, що автоматизують збирання статистики та побудову графіків динаміки мікрокліматичних показників у виробничому середовищі.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при ушкодженні м'яких тканин, суглобів і кісток

Ушкодження опорно-рухового апарату – одна з найпоширеніших причин звернення за медичною допомогою. До найбільш актуальних належать забої, розтягнення зв'язок, вивихи та переломи. Від своєчасності та правильності долікарських заходів залежить подальший прогноз відновлення функцій і ризик ускладнень. Загальні цілі долікарської допомоги: зменшити больовий синдром, попередити розвиток гематом і набряків, забезпечити іммобілізацію ушкодженої ділянки та організувати транспортування потерпілого до спеціалізованого закладу.

Ушкодження м'яких тканин включають забої, розриви м'язів і тривале стискання. При забоях відсутнє порушення цілісності шкіри, зате виникають болісний біль і набряк через внутрішню кровотечу. Розриви супроводжуються вираженішою кровотечею в тканинах та більшим набряком, що підвищує ризик формування гематоми. Синдром тривалого стискання (компресії) розвивається при тривалому перебуванні під завалом чи важкою вагою та загрожує ішемією й інтоксикацією продуктами розпаду м'язів [18].

Основні етапи долікарської допомоги при забоях і розривах м'яких тканин:

- оцінка стану потерпілого та визначення типу травми;
- забезпечення спокою ушкодженої ділянки;
- накладання холодного компресу (міхур із льодом або пакет з охолодженою водою) на 15–20 хвилин кожні 2–3 години протягом доби для зменшення крововиливу та набряку;

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Лазута Р.В.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		Лецишин Ю.З.					55	
<i>Консульт.</i>		Пилипець М.І.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

– тискова компресія еластичним бинтом для обмеження крововиливу;

підняття кінцівки вище рівня серця (при пошкодженні рук чи ніг), сприяє відтоку крові й лімфи;

– при необхідності – короткочасне введення нестероїдних протизапальних (диклофенак) або простих анальгетиків (анальгін) для знеболення [19].

Розтягнення зв'язок і часткові м'язові ушкодження потребують, крім холодової терапії, обов'язкової іммобілізації. Транспортні шини або підручні засоби (дошки, палиці) закріплюють вище й нижче суглоба, обкладаючи м'яким матеріалом (вата, тканина) для уникнення додаткових травм. Компресійна пов'язка фіксує суглоб, запобігає подальшому розтягненню та розвитку набряку. Після зняття гострого болю додатково накладають еластичну або гіпсову пов'язку на термін до 2 тижнів залежно від тяжкості ушкодження [20].

Вивихи суглобів супроводжуються зміщенням суглобових поверхонь, інтенсивним болем і неможливістю руху. При підозрі на вивих необхідно:

– забезпечити нерухомість суглоба за допомогою шин, ортезів або підручних засобів (наприклад, сумка для руки при вивиху плеча);

– уникати самостійних спроб вправлення – це може пошкодити судини та нерви;

– накласти холод на суглоб для зменшення набряку;

– транспортувати потерпілого до лікарні в положенні, що виключає додаткові рухи в місці вивиху [21].

Переломи кісток поділяють на відкриті та закриті. Закритий перелом виявляють за допомогою клінічних ознак: гіперодушення, патологічна рухливість, крепітація уламків, деформація кінцівки. Відкритий перелом супроводжується порушенням цілісності шкіри, кровотечею й вираженими больовими відчуттями. Алгоритм долікарської допомоги при переломах:

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- зупинка кровотечі (при відкритому переломі) стерильною пов'язкою, після обробки рани антисептиком без витягування кісткових уламків, щоб не поглибити травму;
- іммобілізація кінцівки транспортними шинами (металевими, пластиковими, дротяними) або підручними засобами, які охоплюють два суміжні суглоби. Під шину обов'язкові підкладки з м'якого матеріалу.
- фіксація за допомогою бинтів так, щоб не порушувати кровотік;
- при відсутності стандартних шин можна зіставити ушкоджену кінцівку з здоровою й обв'язати бинтом;
- забезпечити горизонтальне положення при підозрі на перелом тазу чи хребта, транспортувати на жорсткій основі [22].

Для знеболення до прибуття лікаря застосовують ненаркотичні (парацетамол, ібупрофен) або, за потреби, наркотичні аналгетики (промедол). При масивній кровотечі накладають джгут або туго пов'язку. Важливо проводити протишокові заходи: зігрівання, введення кристалоїдів при підозрі на внутрішню крововтрату, психологічна підтримка, контроль пульсу й дихання.

Спеціальні випадки:

- синдром тривалого стискання (компресії): до звільнення кінцівки від вагою вранішні протишокові заходи: введення аналгетиків, плазмозамінних розчинів. Після звільнення – контроль ризику гострої ниркової недостатності через рабдоміоліз, уникання різкого зняття джгута (за можливості замінити його тугою пов'язкою) та продовжена іммобілізація з низькотемпературним впливом для запобігання некрозу.
- транспортування: при переломах кінцівок – на ношах з нерухомою кінцівкою, контролюючи дихання та кровообіг. Якщо є підозра на травму голови чи хребта – тільки горизонтальне положення на жорсткій поверхні. При вивихах транспортування у фіксованому стані, уникаючи зайвих рухів [23].

					КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навіть на етапі долікарської допомоги необхідна співпраця з екстреними службами: оперативне забезпечення виклику «швидкої» та інформування про передбачувану тяжкість ушкодження. Своєчасна зупинка кровотечі, адекватна іммобілізація, аналгезія та моніторинг життєвих показників суттєво знижують ризик розвитку ускладнень і підвищують шанси на повне відновлення функцій опорно-рухового апарату.

4.2 Вплив вібрацій на організм людини та розробка заходів щодо її зниження

Вібрація є одним із факторів виробничого середовища, що може спричинити значні негативні наслідки для здоров'я працівника. Згідно з сучасними дослідженнями, вібраційні чинники поділяються на дві основні категорії: ручно–кишкові вібрації та загальні (тобто вплив на весь організм). Ручно–кишкові вібрації передаються через інструменти безпосередньо на кисті та передпліччя, а загальні вібрації охоплюють вплив від сидінь, підлогових поверхонь чи будівельних конструкцій. Інтенсивність і частотний спектр цих коливань визначають ступінь їх негативного впливу, оскільки різні тканини організму володіють власними резонансними частотами. При тривалому впливі вібрацій може зростати ризик розвитку дистрофічних змін у суглобах, порушень кровообігу та неврологічних розладів [24].

Механізм дії вібрацій обумовлений передачею коливальної енергії на внутрішні тканини та органи людини. При впливі ручно–кишкових вібрацій високочастотні коливання від інструментів спричиняють локальні мікротравми м'язово–судинних структур: нервових закінчень, дрібних артерій і вен, сухожилків та м'язових волокон кисті. У свою чергу, загальні вібрації можуть передаватися через сидниці та ноги і поширюватися по всьому тілу, призводячи до посилення навантаження на спинні диски, порушення стабільності міжхребцевих суглобів та змін у внутрішніх органах (від сечостатевої системи до судин головного мозку).

Залежно від інтенсивності та тривалості експозиції вібрацій вони викликають різноманітні захворювання опорно–рухового апарату. При ручно–кишковому впливі на перший план виходить так званий «синдром вібраційної хвороби кисті», що проявляється болем у пальцях, зниженням тактильної чутливості, розвитком васкулопатій (так звані «білі пальці») та остеоартритом міжфалангових суглобів. У разі тривалого впливу загальних вібрацій відзначається підвищена втомлюваність, зниження функціональної здатності міжхребцевих дисків, часті мігреноподібні болі, порушення центральної та периферичної кровоносної системи. Найбільш чутливими до впливу вібрацій вважаються люди із попередньо наявними захворюваннями опорно–рухового апарату або серцево–судинної системи.

Для контролю вібраційного навантаження використовують спеціалізовані методи вимірювання та оцінювання експозиції. Відповідно до ДСТУ EN ISO 5349–1:2006, оцінка ручно–кишкових вібрацій здійснюється шляхом вимірювання прискорень у трьох напрямках (x, y, z) в точці контакту інструмента з кистю, а загальні вібрації оцінюють за допомогою вимірювання прискорень у точці опори тіла (сидіння або стояча платформа). Вимірювання проводять спеціальними акселерометрами, а результати перераховують на еквівалентні усереднені значення згідно з міжнародними стандартами. Лімітні показники денного вібраційного навантаження встановлюють на рівні $2,5 \text{ м/с}^2$ для ручно–кишкових вібрацій та $0,5 \text{ м/с}^2$ для загальних вібрацій при восьмигодинному робочому дні [25].

Профілактика шкідливого впливу вібрацій передбачає застосування інженерно–технічних і організаційних заходів. Інженерні заходи зосереджені на зменшенні вібрацій на джерелі: удосконалення конструкції інструменту (застосування антивібраційних рукояток, гасителів коливань, амортизаторів), використання інструментів із низьким рівнем вібрації та проведення регулярних технічних оглядів для своєчасного усунення несправностей, що призводять до підвищеного рівня коливань. Крім того, встановлення на виробничому обладнанні антивібраційних опор і підлогових покриттів із

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

еластичних полімерних матеріалів значно зменшує передачу загальних вібрацій на робоче місце оператора [25].

Носіння засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) є додатковим, але не основним методом зниження впливу вібрацій. Спеціальні антивібраційні рукавички, виготовлені із комбінованих матеріалів (гельова амортизуюча вкладка, еластичний текстиль), здатні зменшити передачу вібрацій на кисть до 30–40 %, проте ефективність суттєво залежить від відповідності розміру рукавичок та правильності способу їх використання. Для зниження загальних вібрацій виробники пропонують сидіння з багатоступінчастою системою демпфування і пневматичними пружинами, які адаптуються до ваги оператора. Застосування таких сидінь дозволяє зменшити вібропередачу на хребет приблизно на 50 % порівняно з жорсткими посадковими місцями.

Оцінювання ефективності заходів захисту від виробничої вібрації включає регулярний моніторинг як інструментальними методами, так і суб'єктивною оцінкою самопочуття працівників. Періодичні вимірювання вібраційного фону за допомогою спеціалізованих приладів дозволяють фіксувати рівень вібрації на робочому місці та порівнювати його з гранично допустимими нормами.

Крім технічного контролю, важливим є опитування персоналу щодо симптомів вібраційної хвороби, таких як оніміння кінцівок, біль у суглобах, порушення чутливості та втомлюваність. Для раннього виявлення можливих професійних захворювань рекомендовано проводити профілактичні медичні огляди працівників, які працюють з вібраційним обладнанням, не рідше ніж двічі на рік. До складу медичної комісії доцільно включати невролога, ортопеда та судинного хірурга. У разі виявлення порушень необхідно приймати відповідні медичні, реабілітаційні чи організаційні рішення, включаючи тимчасове відсторонення від роботи або переведення на інші умови праці.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						60
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано та реалізовано комп'ютеризовану систему для віддаленого моніторингу мікрокліматичних параметрів, що дозволяє забезпечити безперервний контроль умов повітряного середовища у виробничих приміщеннях текстильної промисловості. Обрані апаратні компоненти – мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, модуль LoRa та набір сенсорів для вимірювання температури, вологості, концентрації CO², запиленості та зважених часток – були інтегровані у єдину систему, яка функціонує автономно й передає дані на віддалений приймальний пристрій без використання дротової інфраструктури.

Програмна частина була створена у середовищі Arduino IDE з урахуванням оптимізації використання ресурсів контролера та забезпечення стабільного бездротового зв'язку. Завдяки використанню протоколу LoRa вдалося досягти високої енергоефективності та стабільності при передачі даних на значні відстані. Кожен вузол системи пройшов індивідуальне тестування, що підтвердило достовірність зчитування параметрів і правильність їх обробки в реальному часі. Виведення результатів на OLED-дисплей, а також відображення отриманих даних у терміналі приймача дозволяє оперативно контролювати стан мікроклімату без необхідності втручання в саму систему.

Комплексний підхід до розробки – від апаратного прототипування до налагодження програмної логіки – забезпечив створення гнучкого та розширюваного рішення, здатного адаптуватися до змін навколишнього середовища та виробничих умов. Отримані результати свідчать про практичну доцільність впровадження подібних систем у виробництво для автоматизованого моніторингу повітряного середовища. Розроблена система демонструє високий рівень інтеграції, надійність та потенціал для подальшої модернізації з можливістю підключення нових сенсорів або впровадження інтелектуального аналізу даних.

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

2. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 150 с.

3. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2024. 566 с.

4. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3628, 2023. P. 106–115.

5. ESP32-WROOM-32D. URL: <https://arduino.ua/prod4919-plata-razrabotchika-esp32-wroom-32d-wi-fi-bt-ble-ot-keyestudio> (дата звернення: 05.04.2025).

6. I2C інтерфейс. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/i2c.html> (дата звернення: 07.04.2025).

7. SPI інтерфейс. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/spi.html> (дата звернення: 08.04.2025).

8. GP2Y1014AU0F. Datasheet. Sharp Microelectronics. URL: https://lsc.com/datasheet/lsc_datasheet_2411220217_Sharp-Microelectronics-GP2Y1014AU0F_C390729.pdf (дата звернення: 11.04.2025).

9. Модуль LoRa Ra-02 SX1278 433МГц. URL: <https://uamper.com/SX1278-LoRa-Module-433M-Ra-02-Wireless-Module> (дата звернення: 15.04.2025).

10. Датчик пилу PM2.5/якості повітря PMS5003. URL: <https://ardu.prom.ua/ua/p1299028113-datchik-pyli-pm25.html> (дата звернення: 18.04.2025).

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

11. OLED 4 PIN 128x64 display module 1.3 inch white. URL: <https://www.rajguruelectronics.com/Product/4437/OLED%204%20PIN%20128x64%20display%20module%201.3%20inch%20white.pdf> (дата звернення: 22.04.2025).

12. UART протокол. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/uart.html> (дата звернення: 30.04.2025).

13. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevska O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. Applied Computer Science, Vol. 17, No. 4, 2021. P. 75–83. (дата звернення: 09.05.2025).

14. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Тези ІХ НТК ІМСТ, ТНТУ, 2021. С. 118.

15. Кардаш І., Лецишин Ю., Варавін А. Критерії ефективності роботи для задачі моніторингу локальної мережі. Тези ХІ НТК ІМСТ, ТНТУ, 2023. С. 154.

16. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Функціональна схема системи керування зовнішнім освітленням на основі технології LoRa. Тези ІХ НТК ІМСТ, ТНТУ, 2021. С. 124.

17. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі Інтернету речей. Тези ХІ МНПКМУ, ТНТУ, 2022. С. 177.

18. Перша долікарська допомога. Фармацевтична енциклопедія. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/790/persha-dolikarska-dopomoga> (дата звернення: 27.05.2025).

19. Перша допомога при ушкодженні м'яких тканин. Довідник з валеології. URL: <https://osvita.ukr-lit.com/persha-dopomoga-pri-ushkodzhenni-m-yakix-tkanin-suglobiv-i-kistok/> (дата звернення: 28.05.2025).

20. Перша допомога при кровотечах. Studopedia.org. URL: <https://studopedia.org/4-41855.html> (дата звернення: 29.05.2025).

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Посібник "Надання першої медичної допомоги при переломах".
Naurok.com.ua. URL: <https://naurok.com.ua/posibnik-nadannya-persho-medichno-dopomogi-pri-perelomah-200976.html> (дата звернення: 30.05.2025).

22. Наказ МОЗ України від 08.10.2018 № 1833. Аптека.ua. URL:
<https://www.apteka.ua/article/488210> (дата звернення: 31.05.2025).

23. ДСТУ EN ISO 5349–1:2006. Вібрація. Вплив на організм людини.
URL: <https://www.uadocuments.in.ua/dstu-iso-5349-1> (дата звернення:
01.06.2025).

24. ДСТУ EN ISO 2631–1:2012. Вібрація і удар. Вплив на організм
людини. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53306
(дата звернення: 02.06.2025).

25. Європейська директива 2002/44/EC. URL: [https://minzdrav.gov.ua/
documents/2002_44_EC.pdf](https://minzdrav.gov.ua/documents/2002_44_EC.pdf) (дата звернення: 02.06.2025).

					<i>КС КРБ 123.223.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ___ ” _____ 2025 р

Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у
виробничих цехах текстильної промисловості

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Лещишин Ю.З.

« ___ » _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Лазута Р.В.

« ___ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату у виробничих цехах текстильної промисловості».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.223.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Лазута Р.В.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 27.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЄСКД, ЄСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Розроблювана система призначена для автоматизованого збору, обробки та передачі даних про температуру, вологість, атмосферний тиск, концентрацію газових домішок і пилових аерозолів у виробничих цехах текстильної промисловості з використанням сенсорів BME280, MQ-135, PMS5003 та GP2Y1014AU0F і бездротового зв'язку LoRa.

2.2 Мета створення системи

Мета роботи полягає у створенні надійного апаратно-програмного комплексу на базі ESP32-WROOM-32D із радіомодулем LoRa, який забезпечить віддалений моніторинг мікроклімату у цехових умовах та передачу пакетів даних на приймальний вузол ESP32+LoRa, підключений до ПК.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є виробничий цех текстильної фабрики, де технологічні процеси та інтенсивне пиловиділення створюють динамічну зміну кліматичних умов. Система повинна працювати в умовах підвищеної вологості, пилу та електромагнітних завад, забезпечуючи надійність вимірів та передачі даних.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна мати модульну структуру: поле-вузли виконують зчитування з BME280, MQ-135, PMS5003 і GP2Y1014AU0F (PM_{2.5}/PM₁₀), локально обробляють дані й передають пакети по LoRa до центрального шлюзу ESP32, підключеного до ПК через USB

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

Поле-вузли використовують протокол LoRaWAN із підтвердженням отримання пакетів для передачі до шлюзу, що гарантує мінімальну втрату даних у промислових умовах. Шлюз сполучається з ПК по USB-інтерфейсу, забезпечуючи миттєву передачу зібраної інформації.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

У нормальному режимі відбувається опитування сенсорів кожні 10 с і відправлення на ПК. При втраті зв'язку вузли переходять в аварійний режим, кешують показники у внутрішній флеш-пам'яті та синхронізуються після відновлення каналу.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Засоби діагностики мають включати самодіагностику сенсорів і радіомодуля з виведенням повідомлень про стан на OLED-дисплей і логуванням на приймальному вузлі. Також передбачені перевірочні тести на етапі завантаження прошивки для перевірки комунікацій та працездатності сенсорів.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Перспективи розвитку та модернізація системи передбачає додавання нових сенсорів, розгортання кількох концентраторів для масштабування мережі до сотень вузлів та інтеграція з хмарними IoT-платформами для машинного аналізу даних.

3.2 Показники призначення

Система розрахована на одночасне обслуговування до 50 польових вузлів у межах одного виробничого майданчика з максимальною відстанню до шлюзу 1,2 км у відкритому просторі. Час безперебійної роботи одного вузла від основного живлення з внутрішнім буфером має перевищувати 48 годин при частоті передач 1 раз на хвилину.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати безперервну роботу польових вузлів не менше 12 місяців без технічного обслуговування. Польові вузли мають автоматично відновлювати передачу при відновленні живлення чи каналу зв'язку.

3.3 Вимоги до безпеки

Усі зовнішні елементи мають бути захищені від випадкового дотику відповідно до стандартів електробезпеки. Електроживлення системи повинно мати захисне відключення при коротких замиканнях і перенапругах.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Сенсори та електронні модулі повинні експлуатуватися при температурі від 0 до +50 °С та відносній вологості 30–90 %. Перевірка та калібрування датчиків здійснюється не рідше ніж раз на півроку.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати шифрування пакетів даних при передачі по LoRa та аутентифікацію вузлів для запобігання підміни даних.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Показники дублюються у внутрішній флеш-пам'яті кожного вузла та в резервному архіві на ПК; автоматична синхронізація відбувається після відновлення роботи системи.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Усі апаратні компоненти та ПЗ мають сертифікати відповідності ДСТУ та відповідають вимогам ергономіки, безпеки й сумісності інтерфейсів.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

Система повинна забезпечувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс OLED для локального моніторингу та графічний інтерфейс на ПК із можливістю

побудови історичних графіків, затримкою відгуку не більше 2 с та шифруванням LoRa-каналу AES-128.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Схема електрична монтажна (з'єднань).

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

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	27.01.2025р. – 02.02.2025р.
2	Аналіз технічного завдання на розробку віддаленого моніторингу мікроклімату	14.02.2025р. – 27.03.2025р.
3	Проектування комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу мікроклімату	03.04.2025р. – 02.05.2025р.
4	Програмування та тестування віддаленого моніторингу мікроклімату	08.05.2025р. – 26.05.2025р.
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	27.05.2025р. – 02.06.2025р.
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	03.06.2025р. – 09.06.2025р.
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	10.06.2025р. – 15.06.2025р.
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025р. – 22.06.2025р.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	27.06.

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнен

Додаток Б

Лістинг коду програми

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <U8g2lib.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <MQSensor.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

// ——— ПІНИ ———
// OLED1 (апаратний I2C)
#define OLED1_SDA 21
#define OLED1_SCL 22
// OLED2 (софт-I2C)
#define OLED2_SDA 25
#define OLED2_SCL 33

// MQ-135
#define MQ135_PIN 34 // A0

// GP2Y1014AU0F
#define DUST_LED_PIN 26
#define DUST_PIN 35

// PMS5003 (UART2)
#define PMS_RX 16
#define PMS_TX 17

// LoRa SX1278
#define LORA_SS 5
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 2
#define LORA_FREQ 433E6

// ——— КОЕФІЦІЄНТИ ДЛЯ MQ-135 ———
const float MQ_A = 116.6020682;
const float MQ_B = -2.769034857;

// ——— ІНТЕРВАЛИ ———
const uint32_t DISPLAY_INTERVAL = 10000; // мс
const uint32_t TX_INTERVAL = 10000; // 10 секунди

// ——— ОБ'ЄКТИ ———
// OLED1 – апаратний I2C
U8G2_SSD1306_128X64_NONAME_F_HW_I2C oled1(
  U8G2_R0, U8X8_PIN_NONE, OLED1_SCL, OLED1_SDA
);
// OLED2 – софт-I2C
U8G2_SSD1306_128X64_NONAME_F_SW_I2C oled2(
  U8G2_R0, OLED2_SCL, OLED2_SDA, U8X8_PIN_NONE
);
```

```

Adafruit_BME280 bme;
MQSensor      mq135(MQ135_PIN, 20, 3.3, 12); // RL=20 кОм
HardwareSerial SerialPMS(2);

// Змінні для даних
float temperature = 0, humidity = 0, co2ppm = 0, dustmg = 0;
uint16_t pm1 = 0, pm25 = 0, pm10 = 0;

uint32_t lastDisplaySwitch = 0;
uint32_t lastTx             = 0;

// Читання PMS5003
bool readPMS(uint16_t &p1, uint16_t &p2, uint16_t &p3) {
    static uint8_t buf[32];
    while (SerialPMS.available()) {
        if (SerialPMS.read() == 0x42 && SerialPMS.peek() == 0x4D) {
            SerialPMS.read(); // 0x4D
            if (SerialPMS.readBytes((char*)(buf+2), 30) == 30) {
                buf[0]=0x42; buf[1]=0x4D;
                uint16_t len = (buf[2]<<8)|buf[3];
                if (len == 28) {
                    p1 = (buf[10]<<8)|buf[11];
                    p2 = (buf[12]<<8)|buf[13];
                    p3 = (buf[14]<<8)|buf[15];
                    return true;
                }
            }
        }
    }
    return false;
}

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

    // I2C для OLED1/BME280
    Wire.begin(OLED1_SDA, OLED1_SCL);

    // Ініціалізація OLED1
    oled1.begin();
    oled1.clearBuffer();
    oled1.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
    oled1.drawUTF8(0,24, "Init OLED1");
    oled1.sendBuffer();

    // Ініціалізація OLED2
    oled2.begin();
    oled2.clearBuffer();
    oled2.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
    oled2.drawUTF8(0,24, "Init OLED2");
    oled2.sendBuffer();

    // BME280
    if (!bme.begin(0x76)) {
        Serial.println("BME280 fail");
    }
}

```

```

    while(1);
}

// MQ-135 калібрування
mq135.calculateR0(10);

// GP2Y1014 LED
pinMode(DUST_LED_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);

// PMS UART2
SerialPMS.begin(9600, SERIAL_8N1, PMS_RX, PMS_TX);

// LoRa SX1278
SPI.begin(18, 19, 23);
pinMode(LORA_RST, OUTPUT);
digitalWrite(LORA_RST, LOW); delay(10);
digitalWrite(LORA_RST, HIGH); delay(10);
LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
LoRa.begin(LORA_FREQ);
LoRa.setTxPower(14);
LoRa.setSpreadingFactor(7);
LoRa.setSignalBandwidth(125E3);
LoRa.setCodingRate4(5);

lastDisplaySwitch = millis();
lastTx             = millis();
}

void loop() {
    uint32_t now = millis();

    // - ОНОВЛЕННЯ ДАНИХ СЕНСОРИВ -
    temperature = bme.readTemperature();
    humidity    = bme.readHumidity();
    co2ppm      = mq135.readPPM(MQ_A, MQ_B);

    // GP2Y1014AU0F
    digitalWrite(DUST_LED_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(280);
    int raw = analogRead(DUST_PIN);
    delayMicroseconds(40);
    digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(9680);
    float V = raw / 4095.0f * 3.3f;
    dustmg = max(0.0f, (V - 0.6f) / 0.005f);

    // PMS5003
    readPMS(pm1, pm25, pm10);

    // - LoRa передача кожні 2 с -
    if (now - lastTx >= TX_INTERVAL) {
        lastTx = now;
        LoRa.beginPacket();
        LoRa.print(temperature,1); LoRa.print(',');
        LoRa.print(humidity,1);   LoRa.print(',');
    }
}

```

```

    LoRa.print((unsigned long)co2ppm); LoRa.print(',');
    LoRa.print(dustmg,1);           LoRa.print(',');
    LoRa.print(pm1);                LoRa.print(',');
    LoRa.print(pm25);               LoRa.print(',');
    LoRa.print(pm10);
    LoRa.endPacket();
    Serial.println("LoRa: sent readings every 10 seconds");
}

// - ВИВІД НА ДИСПЛЕЇ -
bool showPMS = ((now / DISPLAY_INTERVAL) & 1) == 0;

if (showPMS) {
    oled1.clearBuffer();
    oled1.setFont(u8g2_font_ncenB10_tr);
    oled1.drawUTF8(0,16, String("PM1.0 : " + String(pm1) + "
ug/m3").c_str());
    oled1.drawUTF8(0,32, String("PM2.5 : " + String(pm25) + "
ug/m3").c_str());
    oled1.drawUTF8(0,48, String("PM10 : " + String(pm10) + "
ug/m3").c_str());
    oled1.sendBuffer();
} else {
    oled2.clearBuffer();
    oled2.setFont(u8g2_font_ncenB10_tr);
    oled2.drawUTF8(0,16, String("T:" + String(temperature,1) +
"C H:" + String(humidity,1) + "%").c_str());
    oled2.drawUTF8(0,32, String("CO2:" + String((unsigned
long)co2ppm) + " ppm").c_str());
    oled2.drawUTF8(0,48, String("D:" + String(dustmg,1) + "
mg/m3").c_str());
    oled2.sendBuffer();
}

delay(200);
}

```

Додаток В

Перелік елементів до схеми електричної принципової

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1	EWH1EV221F110T AISHI	1	
	<u>Дисплей</u>		
H1, H2	1.3 inch OLED Display Module 128x64	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	CFR0W4J0154A50 ROYALOHM	1	
R2	CF1/4W-1KSR PASSIVES	1	
R3	CF1/4W-2K2SR PASSIVES	1	
	<u>Модулі</u>		
U1	Модуль LoRa Ra-02 SX1278 433МГц	1	
U2	Давач пилю GP2Y1010AU0F	1	
U3	Давач якості повітря MQ-135	1	
U4	Модуль ESP32-WROOM-32D	1	
U5	Давач тиску, температури, вологості BME280	1	
U6	Датчик пилю PM2.5 якості повітря PMS5003	1	

<h3 data-bbox="866 1928 1366 1973">КС КРБ 123.223.00.01 ПЕ</h3>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Лазута Р.В.			
Перевірів	Лецишин Ю.З.			
Рецензент	Гром'як Р.С.			
Н. Контр.	Тиш Є.В.			
Зав. каф.	Осухівська Г.М.			
<p data-bbox="722 2007 1106 2096">Комп'ютеризована система для віддаленого моніторингу мікроклімату</p> <p data-bbox="804 2134 1024 2168">Перелік елементів</p>				
Літ.		Арк.	Акрушів	
Н			1	
<p data-bbox="1193 2107 1493 2141">ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</p>				