

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'ютерна система безконтактного контролю
температури ока людини*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІс-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Чепурний А. Е.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Стадник Н. Б.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Тиш Є.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студента Чепурного Артура Едуардовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини

Керівник роботи Стадник Наталія Богданівна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-189 .

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16 червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Схема електрична структурна

2. Схема електрична принципова

3. Блок схема алгоритму

4. Модель макету

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доц. каф. МТ Сенчишин В. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
1.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
2.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
3.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
4.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
5.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
6.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
7.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>25.06.2026</i>	

Студент

_____ (підпис)

Чепурний А. Е.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Стадник Н. Б.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чепурний А. Е. Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: метеозонд, мікроконтролер, ESP32, LoRa.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з чотирьох розділів.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання, та укладено вимоги до комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини.

В другому розділі описується процес проектування та реалізації проекту, комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини. Приводиться розробка апаратного забезпечення для функціонування системи. Розглядаються бібліотеки та реалізація функцій побудованих на основі них, їх алгоритми.

В третьому розділі проводиться програмна реалізація, налаштування та тестування комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини.

Четвертий розділ описує безпеку життєдіяльності, основи охорони праці.

ANNOTATION

Chepurnyy A. E. Computer System for Non-Contact Measurement of Human Eye Temperature: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: weather probe, microcontroller, ESP32, LoRa.

The bachelor's qualification work consists of four sections.

The first section analyzes the technical task and concludes the requirements for a computer system for non-contact temperature control of the human eye.

The second section describes the process of designing and implementing the project, a computer system for non-contact temperature control of the human eye. The development of hardware for the functioning of the system is presented. Libraries and the implementation of functions built on their basis, their algorithms are considered.

The third section provides software implementation, configuration and testing of a computer system for non-contact temperature control of the human eye.

The fourth section describes the safety of life, the basics of labor protection.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	11
1.1 Аналіз існуючих систем безконтактного контролю температури ока людини	11
1.2 Принципи побудови систем безконтактного контролю температури ока людини	14
1.3 Аналіз вимог до системи безконтактного контролю температури ока людини	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розробка структури системи.....	22
2.2 Обґрунтування вибору апаратної частини системи керування	23
2.2.1 Вибір плати мікроконтролера ESP32	23
2.2.2 Вибір датчика температури	26
2.2.3 Вибір модуль радіочастотної ідентифікації RFID	29
2.2.4 Вибір LCD екрану	31
2.2.5 Вибір радіо модему LoRa.....	34
2.3 Проектування алгоритму роботи комп'ютерної системи	37
2.4 Опис використовуваних бібліотек.....	41
2.5 UML-діаграма станів.....	43
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	47

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Чепурний А.Е.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Стадник Н.Б.</i>							6	
<i>Реценз.</i>								<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>								

3.1 Моделювання роботи системи.....	47
3.2 Опис коду програми роботи системи.....	49
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1 Долікарська допомога при шоку	62
4.2 Оцінка травмонебезпеки виробничого процесу	64
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Код програми	

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

I2C — Inter-Integrated Circuit

SPI — Serial Peripheral Interface

UART — universal asynchronous receiver/transmitter

WiFi — Wireless Fidelity

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Сучасна система охорони здоров'я потребує впровадження новітніх інформаційних та комп'ютерних технологій, які забезпечують швидке, точне та безпечно проведення медичних обстежень. Одним із важливих параметрів, що характеризує стан організму людини, є температура тіла. Підвищення температури часто є однією з перших ознак запальних, інфекційних та інших патологічних процесів. Традиційні методи вимірювання температури потребують безпосереднього контакту з пацієнтом, що може створювати незручності, збільшувати час обслуговування та підвищувати ризик передачі інфекційних захворювань. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають безконтактні методи температурного контролю.

Одним із перспективних напрямів є вимірювання температури рогівки ока, оскільки ця ділянка має добру теплову стабільність та забезпечує можливість швидкого отримання результатів без фізичного контакту з пацієнтом. Використання сучасних інфрачервоних сенсорів дозволяє визначати температуру поверхні ока з високою точністю та мінімальним впливом зовнішніх факторів. Такий підхід може бути ефективно використаний у медичних закладах для первинного скринінгу пацієнтів, контролю перебігу захворювань та проведення профілактичних оглядів.

Додатковою вимогою до сучасних медичних інформаційних систем є автоматизація процесів обліку та зберігання результатів обстежень. Для цього доцільним є використання технології радіочастотної ідентифікації RFID, яка дозволяє швидко та безпомилково ідентифікувати пацієнта за допомогою персональної картки. Поєднання системи безконтактного вимірювання температури ока з RFID-ідентифікацією забезпечує автоматичне прив'язування результатів вимірювання до конкретного пацієнта та їх подальше внесення до електронної історії хвороби. Це сприяє зменшенню кількості помилок під час реєстрації даних, скороченню часу обслуговування та підвищенню ефективності роботи медичного персоналу.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розроблення комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини є актуальним завданням, оскільки поєднує сучасні засоби медичної діагностики, автоматизованої ідентифікації та цифрового зберігання інформації. Впровадження таких систем дозволяє підвищити якість медичного обслуговування, забезпечити оперативний доступ до результатів обстежень та створити передумови для подальшого розвитку електронної медицини. Саме тому розроблення комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини з використанням RFID-технології є актуальним та практично значущим напрямом досліджень.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз існуючих систем безконтактного контролю температури ока людини

Безконтактний контроль температури ока людини є перспективним напрямом сучасної медичної діагностики, який активно розвивається завдяки появі високоточних інфрачервоних сенсорів, тепловізійних камер та комп'ютерних систем обробки даних. Температура поверхні ока, зокрема рогівки, є важливим фізіологічним показником, який відображає особливості кровообігу, інтенсивність обмінних процесів та загальний стан організму людини. Встановлено, що зміна температури рогівки може супроводжувати розвиток різноманітних офтальмологічних захворювань, запальних процесів, інфекційних хвороб, порушень кровопостачання та інших патологічних станів. Саме тому контроль температури ока широко використовується в офтальмології, терапії, інфекційній медицині, спортивній медицині та наукових дослідженнях [1-3].

Однією з головних переваг безконтактного вимірювання температури є відсутність фізичного контакту між пацієнтом та вимірювальним пристроєм [1-3]. Це значно підвищує комфорт пацієнта, усуває ризик передачі інфекцій через контактні поверхні та дозволяє проводити обстеження великої кількості людей за короткий проміжок часу. Особливо актуальними такі системи стали під час поширення вірусних інфекцій, коли виникла необхідність швидкого та безпечного температурного скринінгу населення. На відміну від традиційних контактних термометрів, які потребують певного часу для стабілізації показів, безконтактні системи забезпечують отримання результатів практично миттєво.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>		<i>Чепурний А.Е.</i>			Аналіз технічного завдання					
<i>Перевір.</i>		<i>Стадник Н.Б.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>									11	11
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>						<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>								

Існуючі системи безконтактного контролю температури ока можна поділити на декілька основних груп. Найпростішими є системи на основі інфрачервоних термометрів, які використовують один або декілька інфрачервоних сенсорів для вимірювання температури певної ділянки ока. Такі пристрої аналізують інтенсивність інфрачервоного випромінювання, яке природним чином генерується поверхнею людського тіла. Отримане випромінювання фокусується оптичною системою на чутливому елементі датчика, після чого перетворюється в електричний сигнал. Вбудований мікроконтролер виконує обробку отриманих даних, враховує калібрувальні коефіцієнти та розраховує значення температури поверхні рогівки. Основними перевагами таких систем є невелика вартість, компактність, простота конструкції та висока швидкість вимірювання. Водночас їх недоліком є обмежена зона контролю та залежність точності від правильного позиціонування датчика відносно ока пацієнта [1-3].

Більш складними та функціональними є системи на основі тепловізійних камер. Вони використовують матрицю інфрачервоних сенсорів, яка дозволяє формувати двовимірне теплове зображення обличчя людини. Завдяки цьому можна отримувати не лише значення температури в одній точці, а й аналізувати розподіл температури по всій поверхні обличчя та навколо очей. Тепловізійні системи забезпечують значно вищу інформативність та дозволяють автоматично знаходити найбільш репрезентативні ділянки для вимірювання температури. Такі рішення часто використовуються у великих медичних центрах, аеропортах, на підприємствах та інших об'єктах, де необхідно здійснювати масовий контроль температурного стану людей. Недоліками тепловізійних систем є висока вартість обладнання, складність налаштування та необхідність застосування потужних засобів цифрової обробки зображень.

Окремий напрямок розвитку становлять інтелектуальні системи, які поєднують тепловізійні технології з алгоритмами комп'ютерного зору. Такі

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						12
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

системи автоматично виявляють обличчя людини, визначають положення очей та виконують вимірювання температури рогівки без участі оператора. Використання алгоритмів розпізнавання зображень дозволяє підвищити точність вимірювання та зменшити вплив людського фактора. Крім того, сучасні програмні комплекси можуть зберігати історію вимірювань, формувати статистичні звіти та передавати інформацію до медичних інформаційних систем.

Принцип роботи більшості сучасних систем безконтактного контролю температури ока складається з декількох етапів. Спочатку виконується позиціонування пацієнта відносно вимірювального пристрою. Далі інфрачервоний сенсор або теплова камера реєструє теплове випромінювання поверхні ока. Отриманий сигнал надходить до електронного блоку обробки, де виконується його підсилення, фільтрація та цифрове перетворення. Після цього програмне забезпечення розраховує температуру досліджуваної області, відображає результат на екрані та за необхідності зберігає його в базі даних. У більш сучасних системах додатково здійснюється автоматична перевірка правильності позиціонування пацієнта, контроль відстані до об'єкта та компенсація впливу температури навколишнього середовища.

Важливим напрямом розвитку безконтактних систем контролю температури є інтеграція засобів автоматичної ідентифікації пацієнтів. Для цього широко застосовуються RFID-технології, які забезпечують швидке та надійне розпізнавання особи без необхідності ручного введення даних. Пацієнт підносить персональну RFID-картку до зчитувача, після чого система автоматично визначає його унікальний ідентифікатор та отримує доступ до відповідної електронної медичної картки. Після завершення вимірювання результати автоматично прив'язуються до конкретного пацієнта та зберігаються в базі даних. Такий підхід значно скорочує час обслуговування, зменшує ймовірність помилок персоналу та спрощує ведення медичної документації.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Проведений аналіз показує, що більшість існуючих систем орієнтовані або на вимірювання температури поверхні тіла людини, або на автономний контроль температури ока без інтеграції з медичними інформаційними системами. Разом з тим сучасні тенденції розвитку цифрової медицини вимагають створення комплексних рішень, які поєднують безконтактне вимірювання температури рогівки, автоматичну RFID-ідентифікацію пацієнта, збереження результатів у базі даних та можливість інтеграції з електронною історією хвороби. Розроблення такої комп'ютерної системи дозволить підвищити швидкість проведення обстежень, покращити якість медичного обслуговування та забезпечити більш ефективний моніторинг стану здоров'я пацієнтів у лікувально-профілактичних закладах.

1.2 Принципи побудови систем безконтактного контролю температури ока людини

Системи безконтактного контролю температури ока людини належать до класу сучасних медико-технічних засобів діагностики, які використовують інфрачервоні методи вимірювання температури біологічних об'єктів без прямого контакту з пацієнтом. Основним завданням таких систем є швидке, точне та безпечне визначення температури поверхні рогівки ока з подальшим аналізом отриманих результатів. Використання безконтактного методу вимірювання дозволяє уникнути дискомфорту для пацієнта, знизити ризик передачі інфекційних захворювань та забезпечити високу швидкість проведення обстеження. Саме тому подібні системи знаходять широке застосування в офтальмології, клінічній медицині, телемедицині, системах масового медичного скринінгу та наукових дослідженнях.

Принцип побудови таких систем базується на фізичному явищі теплового випромінювання тіл. Будь-який об'єкт, температура якого вища за абсолютний нуль, випромінює електромагнітну енергію в інфрачервоному

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоні спектра. Інтенсивність цього випромінювання залежить від температури поверхні об'єкта (див. рис. 1.1) [1-3]. Рогівка ока також випромінює інфрачервону енергію, яка може бути зареєстрована спеціальними сенсорами без необхідності контакту з поверхнею ока. Отримані дані використовуються для визначення температури досліджуваної ділянки з високою точністю.

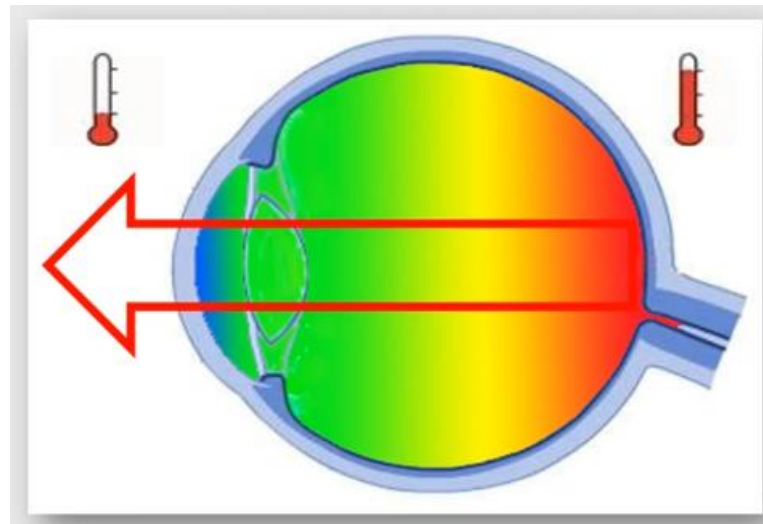


Рисунок 1.1 – Розподіл температури в оці

Типова система безконтактного контролю температури ока складається з декількох функціональних підсистем. Першою є вимірювальна підсистема, до складу якої входять інфрачервоні датчики температури або тепловізійні модулі. Інфрачервоні датчики забезпечують вимірювання температури в одній або декількох точках, тоді як тепловізійні модулі дозволяють отримати повноцінне температурне зображення поверхні ока та навколишніх тканин. Вибір типу датчика залежить від необхідної точності, швидкості роботи, вартості системи та вимог до функціональних можливостей пристрою.

Другим важливим елементом є оптична система. Вона забезпечує правильне фокусування інфрачервоного випромінювання від поверхні ока на чутливий елемент сенсора. Для цього використовуються спеціальні лінзи та оптичні фільтри, які пропускають лише необхідний діапазон інфрачервоного

випромінювання та зменшують вплив зовнішніх джерел тепла. Якість оптичної системи безпосередньо впливає на точність вимірювань та стабільність роботи пристрою.

Наступним компонентом є система позиціонування пацієнта. Для отримання достовірних результатів необхідно забезпечити правильне розташування ока відносно вимірювального пристрою. У найпростіших системах для цього використовуються механічні обмежувачі або спеціальні підставки. У більш сучасних рішеннях застосовуються відеокамери та алгоритми комп'ютерного зору, які автоматично визначають положення обличчя та очей пацієнта, контролюють відстань до об'єкта та виконують автоматичне наведення вимірювальної системи на необхідну ділянку рогівки.

Центральним елементом системи є мікроконтролер або вбудований комп'ютер, який виконує збір, обробку та аналіз інформації. Отримані від інфрачервоного сенсора сигнали надходять до аналого-цифрового перетворювача або безпосередньо через цифровий інтерфейс. Після цього виконується фільтрація шумів, компенсація впливу навколишнього середовища, корекція похибок та обчислення фактичного значення температури. Сучасні алгоритми також можуть враховувати вологість повітря, температуру навколишнього середовища, відстань до об'єкта та інші фактори, що впливають на точність вимірювання.

Важливою складовою сучасних систем є підсистема автоматичної ідентифікації пацієнта. Для цього широко використовуються RFID-технології. Кожен пацієнт отримує RFID-картку з унікальним ідентифікатором, який зчитується спеціальним RFID-рідером перед початком вимірювання. Отриманий код використовується для пошуку електронної медичної картки пацієнта у базі даних. Після завершення процедури результати автоматично прив'язуються до відповідного запису в інформаційній системі медичного закладу. Такий підхід дозволяє уникнути

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

помилки при ручному введенні даних та значно скорочує час обслуговування пацієнтів.

Ще одним важливим принципом побудови є інтеграція системи з інформаційними мережами та базами даних. Після завершення вимірювання результати можуть передаватися через локальну мережу або бездротові канали зв'язку до серверів медичного закладу. Це забезпечує централізоване зберігання інформації, можливість перегляду історії вимірювань, автоматичне формування звітів та подальший аналіз отриманих даних. У сучасних медичних інформаційних системах такі результати можуть автоматично додаватися до електронної історії хвороби пацієнта.

Для забезпечення високої точності вимірювань у системах безконтактного контролю температури ока застосовуються засоби автоматичного калібрування. Вони дозволяють компенсувати зміни характеристик сенсорів, вплив температури навколишнього середовища та старіння електронних компонентів. У деяких системах використовуються еталонні джерела тепла, за допомогою яких періодично виконується перевірка правильності вимірювань та корекція параметрів роботи пристрою.

З точки зору функціональної структури сучасна система безконтактного контролю температури ока людини включає підсистему вимірювання температури, підсистему оптичного наведення, модуль обробки даних, RFID-модуль ідентифікації пацієнта, засоби відображення результатів та інтерфейс зв'язку з медичною інформаційною системою. Взаємодія цих компонентів забезпечує автоматизоване проведення вимірювань, високу точність отриманих результатів та можливість оперативного збереження інформації в електронній базі даних.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						17
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3 Аналіз вимог до системи безконтактного контролю температури ока людини

Розроблення комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини потребує детального аналізу вимог, які визначають функціональні можливості, технічні характеристики, точність вимірювання, надійність роботи та зручність використання системи в реальних умовах медичних закладів. Вимоги до такої системи формуються на основі особливостей об'єкта контролю, сучасних тенденцій розвитку медичних інформаційних технологій, необхідності автоматизації діагностичних процедур та забезпечення високого рівня достовірності отриманих результатів. Оскільки температура рогівки ока є важливим фізіологічним показником, який може використовуватися для оцінювання загального стану організму та виявлення певних захворювань, система повинна забезпечувати високу точність, швидкодію та безпечність вимірювань.

Однією з основних вимог є забезпечення безконтактного способу вимірювання температури (див. рис. 1.2) [1-3]. Під час проведення процедури пацієнт не повинен контактувати з вимірювальними елементами пристрою. Це дозволяє усунути ризик передачі інфекційних захворювань через контактні поверхні, підвищити комфорт пацієнта та спростити процедуру обслуговування. Особливо важливою така вимога є для медичних закладів з великим потоком пацієнтів, де необхідно виконувати значну кількість вимірювань протягом короткого часу.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

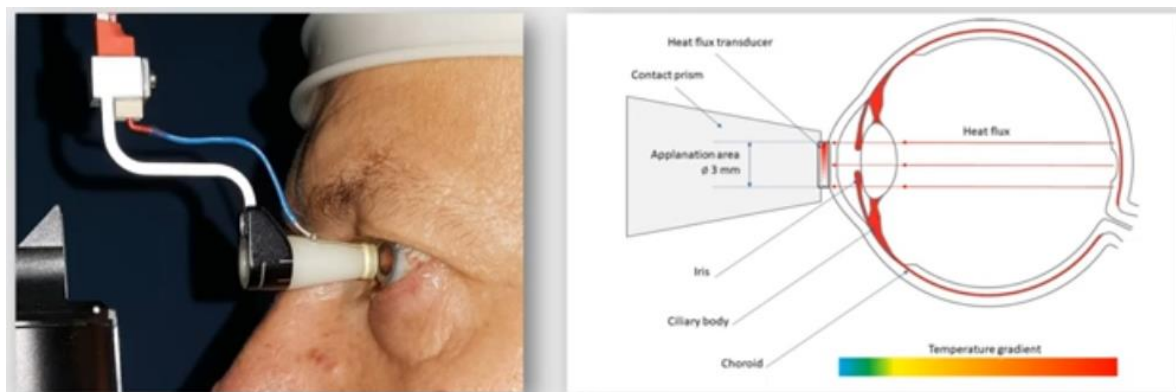


Рисунок 1.2 – Принцип безконтактного вимірювання температури ока

Наступною важливою вимогою є висока точність вимірювання температури рогівки ока. Відомо, що зміни температури можуть становити лише декілька десятих часток градуса, тому вимірювальна система повинна забезпечувати похибку не більше $\pm 0,2-0,5$ °С. Для досягнення необхідної точності необхідно використовувати сучасні інфрачервоні датчики температури або тепловізійні модулі з високою чутливістю та стабільністю характеристик. Крім того, система повинна враховувати вплив температури навколишнього середовища, вологості повітря, відстані до пацієнта та інших факторів, які можуть впливати на результати вимірювання.

Важливою вимогою є швидкодія системи [1-3]. Процес вимірювання повинен тривати не більше кількох секунд, що дозволить використовувати пристрій для оперативного контролю великої кількості пацієнтів. Швидке отримання результатів особливо важливе під час проведення масових профілактичних оглядів, первинного медичного скринінгу або роботи приймальних відділень медичних закладів. Висока швидкодія досягається завдяки використанню сучасних мікроконтролерів, швидких цифрових інтерфейсів та ефективних алгоритмів обробки даних.

Однією з ключових вимог до проєктованої системи є автоматична ідентифікація пацієнта. Для цього доцільно використовувати RFID-технологію, яка дозволяє швидко та надійно визначати особу користувача за допомогою безконтактної RFID-картки. Система повинна забезпечувати

стабільне зчитування унікального ідентифікатора пацієнта, його передачу до програмного забезпечення та автоматичне відкриття відповідної електронної медичної картки. Використання RFID-ідентифікації дозволяє значно зменшити кількість помилок, які можуть виникати при ручному введенні персональних даних.

Особливу увагу необхідно приділити вимогам щодо зберігання та передачі інформації. Після завершення вимірювання результат повинен автоматично зберігатися у базі даних та прив'язуватися до конкретного пацієнта. Це забезпечує формування електронної історії спостережень, можливість аналізу динаміки зміни температури та швидкий доступ до попередніх результатів. Крім того, система повинна підтримувати обмін інформацією з медичними інформаційними системами лікувального закладу через стандартні мережеві інтерфейси.

Важливою вимогою є забезпечення зручності використання медичним персоналом. Інтерфейс користувача повинен бути простим, зрозумілим та інтуїтивно доступним. На екрані повинна відображатися інформація про стан системи, процес ідентифікації пацієнта, результати вимірювання температури та повідомлення про можливі помилки. Мінімізація кількості дій оператора дозволяє зменшити навантаження на медичний персонал та підвищити ефективність роботи системи.

Окрему групу складають вимоги щодо надійності та безпеки роботи системи. Медичне обладнання повинно забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу, бути стійким до електромагнітних завад та не втрачати працездатність при незначних коливаннях параметрів живлення. Також необхідно передбачити механізми контролю справності основних вузлів системи, виявлення помилок та інформування користувача про виникнення несправностей. Надійність роботи є особливо важливою в умовах постійної експлуатації в медичних закладах.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						20
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Суттєвою вимогою є забезпечення захисту персональних даних пацієнтів. Оскільки система працює з медичною інформацією, необхідно забезпечити обмеження доступу до бази даних, захист каналів передачі інформації та можливість автентифікації користувачів системи. Реалізація заходів інформаційної безпеки дозволяє забезпечити конфіденційність медичних даних та відповідність сучасним вимогам цифрової медицини.

Важливою технічною вимогою є можливість масштабування та модернізації системи. Архітектура програмного та апаратного забезпечення повинна дозволити підключення додаткових датчиків, модулів зв'язку та засобів автоматизованого аналізу даних без необхідності повної зміни структури пристрою. Такий підхід забезпечує можливість подальшого розвитку системи відповідно до нових вимог медичної практики.

Також необхідно враховувати економічні вимоги до проєктованої системи. Вартість апаратних компонентів, програмного забезпечення та технічного обслуговування повинна бути достатньо низькою для забезпечення можливості широкого впровадження системи у лікувально-профілактичних закладах різного рівня. При цьому економічність не повинна негативно впливати на точність, функціональність та надійність роботи пристрою.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						21
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури системи

Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини наведена на рисунку 2.1:

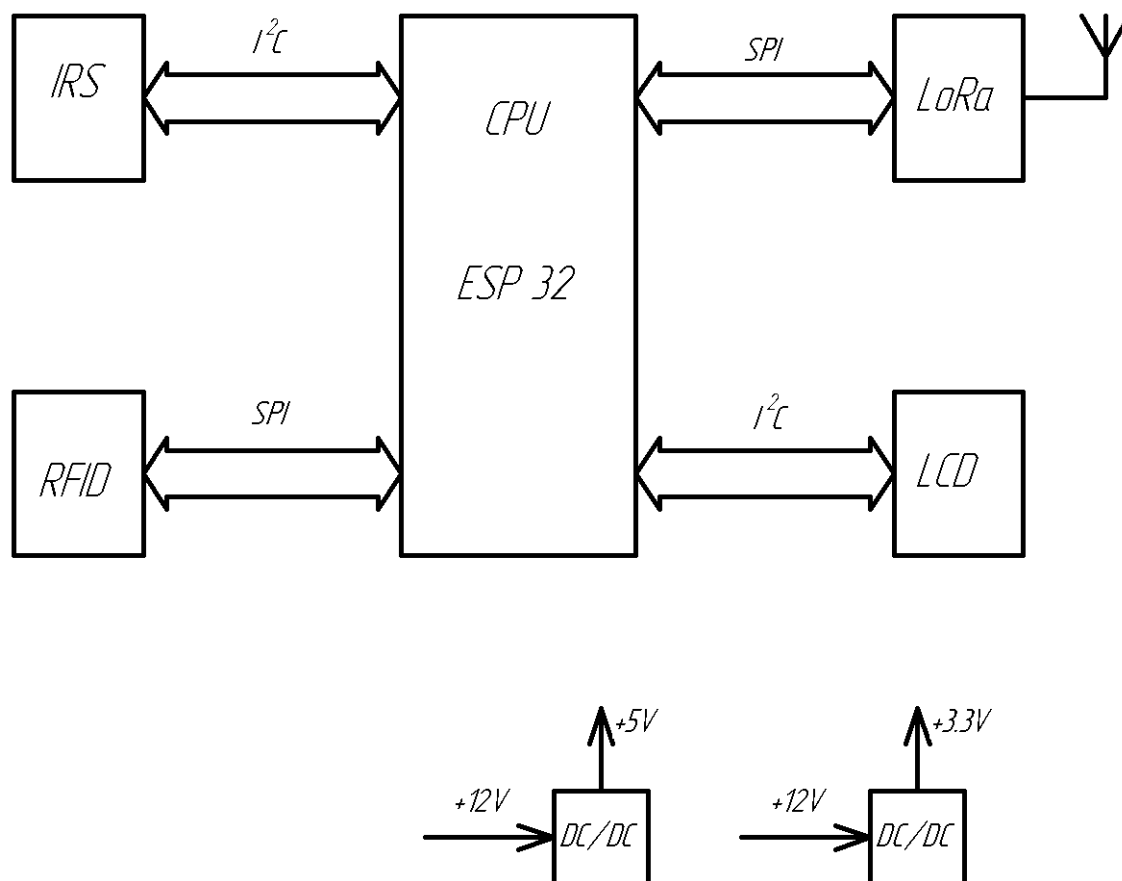


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи

Структурна схема системи безконтактного контролю температури ока людини за допомогою безконтактного інфрачервоного вимірювача температури IRS визначає температуру рогівки ока і через шину I2C

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Чепурний А.Е.			Проектна частина		
Перевір.		Стадник Н.Б.					
Реценз.							
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						22	25
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		

передає дані в мікроконтролер ESP32, також до мікроконтролера приєднано модуль радіочастотної ідентифікації RFID, який використовується для ідентифікації пацієнта. Вказівки для користувача надаються через LCD екран, на якому відображаються підказки. Результати вимірювань температури надсилаються на сервер одним із трьох радіоканалів, WiFi, Bluetooth або головним каналом LoRa, який забезпечує найбільшу дальність зв'язку.

Послідовність роботи системи наступна, користувач підходить і реєструється за допомогою RFID ідентифікації і приєднується до медичної бази даних, і далі дивиться в окуляр, який вимірює температуру рогівки, а результати надсилає в базу даних медичного сервера.

2.2 Обґрунтування вибору апаратної частини системи керування

2.2.1 Вибір плати мікроконтролера ESP32

Для реалізації комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини доцільно використати мікроконтролерну платформу ESP32 (див. рис. 2.2) [4-9], яка поєднує високу обчислювальну продуктивність, широкий набір периферійних інтерфейсів та вбудовані бездротові засоби зв'язку. Вибір даної платформи обумовлений необхідністю одночасної роботи з безконтактним інфрачервоним датчиком температури, RFID-зчитувачем, LCD-дисплеєм та декількома каналами передачі даних до медичного сервера. Крім того, система повинна забезпечувати обробку результатів вимірювань у реальному часі, виконувати ідентифікацію пацієнтів та підтримувати бездротовий обмін інформацією через мережі WiFi, Bluetooth і LoRa.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які також підтримуються мікроконтролером ESP32. Завдяки великій кількості цифрових входів і виходів забезпечується можливість підключення додаткових периферійних модулів у разі подальшої модернізації системи.

Важливою перевагою ESP32 є наявність вбудованого модуля WiFi стандарту IEEE 802.11 b/g/n. Це дозволяє без використання додаткових модулів передавати результати вимірювань безпосередньо до медичного сервера через локальну комп'ютерну мережу або мережу Інтернет. У випадку використання медичних інформаційних систем WiFi забезпечує високу швидкість передачі даних та можливість інтеграції пристрою з існуючою мережевою інфраструктурою лікувального закладу.

Ще однією важливою характеристикою є підтримка технології Bluetooth версії 4.2 та Bluetooth Low Energy. Це дозволяє передавати результати вимірювань на мобільні пристрої медичного персоналу, планшети або комп'ютери без використання дротових з'єднань. Bluetooth може використовуватися як резервний канал зв'язку у випадку відсутності доступу до мережі WiFi або для локального налаштування параметрів системи.

Для забезпечення зв'язку на великих відстанях у проєктованій системі передбачено використання технології LoRa. Мікроконтролер ESP32 має апаратну підтримку інтерфейсу SPI, через який легко підключаються радіомодулі LoRa сімейства SX1276, SX1278 та аналогічні пристрої. Використання LoRa дозволяє передавати дані на відстані від декількох кілометрів до десятків кілометрів залежно від умов поширення радіосигналу, що робить систему незалежною від локальної мережевої інфраструктури та забезпечує додатковий резервний канал передачі інформації.

Не менш важливою є достатня ємність оперативної та флеш-пам'яті мікроконтролера. ESP32 має до 520 КБ оперативної пам'яті та декілька мегабайт флеш-пам'яті для зберігання програмного коду, налаштувань і службових даних. Це дозволяє реалізовувати складні алгоритми обробки

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

інформації, зберігати локальний журнал вимірювань та підтримувати сучасні мережеві протоколи обміну даними.

Значною перевагою ESP32 є також низьке енергоспоживання. Мікроконтролер підтримує декілька режимів енергозбереження, що дозволяє використовувати його в автономних або мобільних медичних пристроях. Незважаючи на високу продуктивність, споживання енергії залишається відносно невеликим, що позитивно впливає на загальну ефективність роботи системи.

Додатковою перевагою платформи є широке поширення серед розробників, велика кількість готових програмних бібліотек та підтримка популярного середовища розробки Arduino IDE. Це значно спрощує створення програмного забезпечення для роботи з інфрачервоними датчиками температури, RFID-модулями, LCD-дисплеями, мережевими інтерфейсами та LoRa-модулями. Наявність великої спільноти користувачів і значної кількості прикладів програмного коду скорочує час розроблення та налагодження системи.

2.2.2 Вибір датчика температури

Одним із найважливіших етапів проектування системи безконтактного контролю температури ока людини є вибір датчика температури. Від правильності вибору вимірювального елемента залежать точність визначення температури рогівки, швидкість отримання результатів, надійність роботи системи та її відповідність вимогам медичного застосування. Оскільки вимірювання повинно виконуватися без контакту з поверхнею ока, використання традиційних контактних датчиків температури, таких як терморезистори, термопари або цифрові контактні термометри, є неможливим. Для даної задачі необхідно застосовувати інфрачервоні датчики температури, які дозволяють визначати температуру об'єкта на відстані за інтенсивністю його теплового випромінювання.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед великої кількості доступних інфрачервоних сенсорів особливу увагу привертає безконтактний інфрачервоний датчик температури MLX90614 (див. рис. 2.3) [4-9], який широко використовується в медичних, промислових та наукових вимірювальних системах. Даний сенсор поєднує в одному корпусі інфрачервоний приймач випромінювання, високоточний аналого-цифровий перетворювач, температурний сенсор навколишнього середовища та мікроконтролер для обробки даних. Основною перевагою MLX90614 є можливість безконтактного вимірювання температури об'єкта на відстані від декількох сантиметрів без необхідності використання складної оптичної системи.



Рисунок 2.3 – Безконтактний інфрачервоний датчик температури MLX90614

Датчик працює за принципом реєстрації інфрачервоного випромінювання, яке випромінюється поверхнею рогівки ока. Отримане випромінювання перетворюється на електричний сигнал, який обробляється вбудованим контролером датчика. Результатом є готове цифрове значення температури, яке може передаватися безпосередньо до мікроконтролера ESP32 через інтерфейс I2C. Це значно спрощує розроблення системи та зменшує кількість додаткових електронних компонентів.

Важливою перевагою MLX90614 є достатньо висока точність вимірювання температури в діапазоні температур людського тіла. Для медичних застосувань похибка вимірювання становить близько $\pm 0,2-0,5$ °C,

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що відповідає вимогам систем попереднього медичного контролю. Діапазон вимірювань датчика значно перевищує необхідні значення температури людського організму, що забезпечує стабільну роботу в різних умовах експлуатації. Крім того, сенсор має високу чутливість та швидкий час відгуку, що дозволяє отримувати результати практично миттєво після наведення на об'єкт.

Ще однією важливою перевагою є підтримка цифрового інтерфейсу I2C. Оскільки в проєктованій системі вже використовується мікроконтролер ESP32 та LCD-дисплей з підтримкою I2C, використання MLX90614 дозволяє підключити всі пристрої до спільної шини обміну даними. Це спрощує електричну схему пристрою, зменшує кількість з'єднувальних провідників та підвищує надійність роботи системи.

Альтернативою MLX90614 можуть бути більш сучасні інфрачервоні сенсори, наприклад MLX90632 або MLX90640. Датчик MLX90632 спеціально розроблений для медичних пристроїв та має підвищену точність вимірювання температури тіла людини. Однак його використання потребує складніших алгоритмів калібрування та обробки сигналів. Тепловізійна матриця MLX90640 дозволяє отримувати теплове зображення області ока та визначати температуру в різних точках рогівки, проте її вартість є значно вищою, а реалізація системи потребує суттєво більшої обчислювальної потужності та складнішого програмного забезпечення.

Для бакалаврського проєкту доцільним є використання саме датчика MLX90614, оскільки він забезпечує оптимальне співвідношення між вартістю, точністю, простотою інтеграції та функціональними можливостями. Датчик підтримує безконтактне вимірювання температури рогівки ока, має готовий цифровий інтерфейс I2C для взаємодії з мікроконтролером ESP32, характеризується високою надійністю та має значну кількість готових програмних бібліотек для середовища Arduino IDE. Це дозволяє суттєво скоротити час розроблення системи та зосередити увагу

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						28
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

на реалізації функцій автоматичної ідентифікації пацієнта за допомогою RFID та передачі результатів вимірювання через канали WiFi, Bluetooth і LoRa.

2.2.3 Вибір модуль радіочастотної ідентифікації RFID

Важливою складовою комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини є модуль радіочастотної ідентифікації RFID, який використовується для автоматичного розпізнавання пацієнта та забезпечення прив'язки результатів вимірювання температури до його електронної медичної картки. Використання RFID-технології дозволяє автоматизувати процес реєстрації пацієнтів, усунути необхідність ручного введення персональних даних та значно зменшити ймовірність помилок під час обробки медичної інформації. Завдяки цьому забезпечується швидке обслуговування пацієнтів та підвищується ефективність роботи медичного персоналу.

Для реалізації проєктованої системи доцільно використати RFID-модуль MFRC522, який є одним із найбільш поширених рішень для роботи з безконтактними RFID-картками стандарту MIFARE на частоті 13,56 МГц. Даний модуль характеризується невисокою вартістю, компактними розмірами, низьким енергоспоживанням та простотою інтеграції з мікроконтролерами сімейства ESP32. Крім того, MFRC522 має широку програмну підтримку та велику кількість готових бібліотек для середовища Arduino IDE, що значно спрощує розроблення програмного забезпечення.

Принцип роботи RFID-модуля MFRC522 (див. рис. 2.4) [4-9] полягає у формуванні електромагнітного поля за допомогою вбудованої антени. Коли RFID-картка потрапляє в зону дії цього поля, мікросхема картки отримує живлення від електромагнітної енергії зчитувача та передає свій унікальний ідентифікаційний код. Модуль приймає ці дані, виконує їх декодування та передає ідентифікатор до мікроконтролера ESP32 через цифровий інтерфейс

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						29
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

SPI. Отриманий код використовується для пошуку відповідного запису пацієнта в медичній базі даних. Після завершення процедури ідентифікації система дозволяє виконати вимірювання температури рогівки ока та автоматично зберегти результати в електронній історії хвороби.

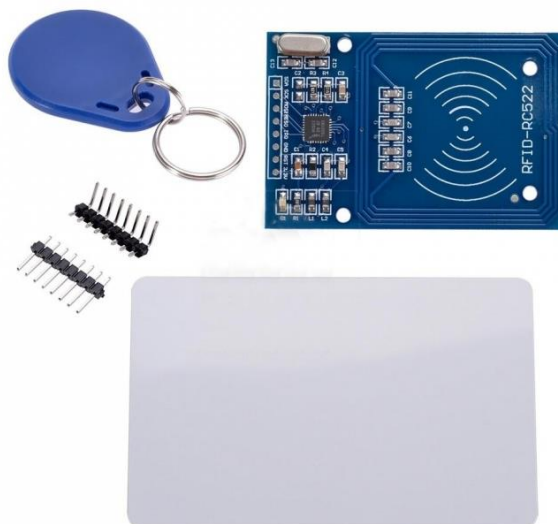


Рисунок 2.4 – RFID-модуль MFRC522

Однією з основних переваг MFRC522 є підтримка популярних RFID-карток стандартів MIFARE Classic, MIFARE Ultralight та сумісних транспондерів. Це дозволяє використовувати доступні та широко розповсюджені RFID-картки, брелоки або електронні перепустки для ідентифікації пацієнтів. Дальність зчитування становить приблизно від 2 до 5 сантиметрів, що забезпечує достатній рівень захисту від випадкового зчитування сторонніх карток та виключає помилки під час ідентифікації.

Важливою перевагою модуля є його сумісність із мікроконтролером ESP32. Для обміну даними використовується високошвидкісний інтерфейс SPI, який забезпечує швидку передачу інформації та мінімальні затримки під час роботи системи. Завдяки цьому процес ідентифікації пацієнта займає частки секунди, що особливо важливо при обслуговуванні великої кількості відвідувачів медичного закладу.

Порівняно з іншими RFID-рішеннями, такими як EM-18, RDM6300 або PN532, модуль MFRC522 має оптимальне співвідношення функціональних можливостей, вартості та складності реалізації. Модулі EM-18 і RDM6300 працюють на частоті 125 кГц та підтримують лише базові функції ідентифікації, тоді як PN532 має ширші можливості, включаючи підтримку NFC-технології, однак характеризується вищою вартістю та складнішим програмним налаштуванням. Для задачі автоматичної ідентифікації пацієнта в системі контролю температури ока використання MFRC522 є найбільш раціональним рішенням.

Застосування RFID-модуля дозволяє реалізувати повністю автоматизований процес роботи системи. Після піднесення RFID-картки до зчитувача система виконує ідентифікацію пацієнта, завантажує його облікові дані, виводить відповідні підказки на LCD-дисплей та переводить систему в режим вимірювання температури рогівки ока. Після завершення вимірювання результати автоматично прив'язуються до ідентифікованого пацієнта та передаються на медичний сервер через канали WiFi, Bluetooth або LoRa. Такий підхід мінімізує участь медичного персоналу в процесі реєстрації та забезпечує високу достовірність збережених даних.

2.2.4 Вибір LCD екрану

Важливою складовою комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини є засіб відображення інформації, який забезпечує взаємодію користувача з пристроєм та надає необхідні вказівки під час виконання вимірювання. Для реалізації даної функції доцільно використати символний LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I2C (див. рис. 2.5) [4-9]. Вибір саме цього дисплея обумовлений його простотою підключення, достатньою інформативністю, низькою вартістю та високою надійністю роботи в складі вбудованих комп'ютерних систем.



Рисунок 2.5 – Символьний LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I2

Основним призначенням LCD-екрана в проєктованій системі є відображення службових повідомлень, підказок для пацієнта, результатів ідентифікації та інформації про процес вимірювання температури рогівки ока. Під час роботи системи дисплей може виводити повідомлення про готовність пристрою до роботи, необхідність прикладання RFID-картки, успішне завершення ідентифікації пацієнта, запрошення подивитися в окуляр вимірювальної системи, результати вимірювання температури та повідомлення про успішне передавання даних на медичний сервер. Завдяки цьому користувач отримує зрозумілі інструкції щодо подальших дій, що підвищує зручність використання пристрою.

LCD-дисплей 1602 має два рядки по шістнадцять символів у кожному, що дозволяє одночасно відображати достатній обсяг текстової інформації. Незважаючи на відносно просту конструкцію, дисплей забезпечує хорошу читабельність символів, низьке енергоспоживання та можливість роботи в широкому діапазоні температур навколишнього середовища. Вбудоване світлодіодне підсвічування забезпечує комфортне зчитування інформації навіть за умов недостатнього освітлення.

Важливою перевагою обраного дисплея є використання інтерфейсу I2C через спеціальний адаптер на базі мікросхеми PCF8574. У традиційному режимі підключення LCD1602 потребує використання значної кількості цифрових ліній мікроконтролера, що ускладнює електричну схему системи.

Застосування I2C-адаптера дозволяє скоротити кількість необхідних провідників до двох сигнальних ліній SDA та SCL. Це особливо важливо для проєктованої системи, оскільки шина I2C вже використовується для підключення безконтактного інфрачервоного датчика температури MLX90614. Таким чином, дисплей та датчик можуть працювати через одну спільну шину, що спрощує апаратну реалізацію пристрою.

LCD1602 повністю сумісний з мікроконтролером ESP32 і підтримується великою кількістю готових програмних бібліотек для середовища Arduino IDE. Це дозволяє швидко реалізувати функції відображення текстових повідомлень, результатів вимірювань та діагностичної інформації без необхідності розроблення складного програмного забезпечення. Крім того, дисплей характеризується стабільною роботою та високою надійністю, що є важливою вимогою для медичних інформаційних систем.

Порівняно з графічними OLED-дисплеями та кольоровими TFT-екранами, LCD1602 має нижчу вартість, простішу схему підключення та менше енергоспоживання. Хоча сучасні графічні дисплеї дозволяють відображати складні графічні елементи, піктограми та меню, для даної системи основним завданням є виведення коротких текстових повідомлень та результатів вимірювання температури. Тому використання дорожчих графічних дисплеїв є недоцільним і не забезпечує суттєвих переваг для виконання поставлених функцій.

Використання LCD-дисплея дозволяє реалізувати логічну послідовність взаємодії з пацієнтом. Після ввімкнення пристрою на екрані відображається повідомлення про готовність системи до роботи. Далі користувач отримує запрошення прикласти RFID-картку для ідентифікації. Після успішного зчитування картки дисплей виводить інформацію про завершення реєстрації та пропонує розташувати око навпроти вимірювального окуляра. Після виконання вимірювання на екран виводиться

значення температури рогівки та повідомлення про передавання результатів до медичного сервера через канали WiFi, Bluetooth або LoRa. Така організація роботи забезпечує просте та зрозуміле використання системи навіть для користувачів без спеціальної підготовки.

2.2.5 Вибір радіо модему LoRa

Для передавання результатів вимірювання температури рогівки ока на медичний сервер у проєктованій системі передбачено використання декількох каналів зв'язку, серед яких основним каналом є LoRa. Вибір радіомодему LoRa обумовлений необхідністю забезпечення надійного бездротового передавання даних на значну відстань, особливо в умовах, коли WiFi або Bluetooth мають обмежений радіус дії чи є недоступними. Для системи безконтактного контролю температури ока людини не потрібно передавати великі обсяги інформації, оскільки основними даними є ідентифікатор пацієнта, значення температури, дата, час вимірювання та службова інформація про стан пристрою. Саме тому технологія LoRa є доцільною, оскільки вона орієнтована на передавання невеликих пакетів даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

Для реалізації LoRa-зв'язку доцільно використати радіомодем на базі мікросхеми SX1278 (див. рис. 2.6) [4-9]. Цей модуль є одним із найпоширеніших рішень для побудови бездротових систем передавання даних у проєктах на базі мікроконтролерів ESP32. Він працює в діапазоні 433 МГц, підтримує модуляцію LoRa та забезпечує високу чутливість приймача, що дозволяє отримувати стабільний зв'язок навіть за наявності перешкод або на значній відстані між передавачем і приймачем. У межах медичного закладу або комплексу корпусів така технологія може використовуватися для передавання результатів вимірювань до центрального шлюзу, який далі надсилає інформацію на медичний сервер.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						34
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 2.6 – Радіомодем на базі мікросхеми SX1278

Основною перевагою радіомодему SX1278 є велика дальність зв'язку порівняно з WiFi та Bluetooth. Bluetooth зручний для локального обміну даними на невеликій відстані, WiFi забезпечує високу швидкість передавання в межах локальної мережі, однак обидві технології залежать від наявності відповідної інфраструктури та мають обмежену зону покриття. LoRa, навпаки, дозволяє організувати незалежний канал зв'язку з великим радіусом дії, що є корисним для медичних закладів, польових медичних пунктів, мобільних діагностичних систем або випадків, коли пристрій розташований на відстані від основної мережевої інфраструктури.

Радіомодем SX1278 взаємодіє з мікроконтролером ESP32 через інтерфейс SPI. Це є важливою перевагою, оскільки ESP32 має апаратну підтримку SPI та достатню кількість виводів для підключення радіомодуля. Через цей інтерфейс мікроконтролер передає до LoRa-модуля сформований пакет даних, який містить ідентифікатор пацієнта, результат вимірювання температури, службові параметри та контрольну інформацію. Після цього радіомодем виконує модуляцію сигналу та передає пакет у радіоефір. На стороні приймача інший LoRa-модуль або шлюз приймає повідомлення, декодує його та передає дані до серверної частини системи.

Ще однією важливою перевагою LoRa є висока завадостійкість. Завдяки використанню спеціального широкосмугового методу модуляції сигналу технологія забезпечує стійке передавання інформації навіть за

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

низького рівня сигналу. Це особливо важливо в умовах будівель з товстими стінами, великою кількістю електронного обладнання та можливими радіоперешкодами. Для медичної системи це означає підвищення надійності передавання результатів вимірювання.

Важливим фактором вибору SX1278 є його низьке енергоспоживання. Радіомодем може працювати в режимах передавання, приймання та очікування, що дозволяє оптимізувати споживання електроенергії залежно від режиму роботи системи. Оскільки передавання результатів вимірювання виконується лише після ідентифікації пацієнта та завершення процедури контролю температури, модуль більшу частину часу може перебувати в енергозберігаючому режимі. Це є важливим для автономних або переносних варіантів пристрою.

Порівняно з іншими бездротовими технологіями, LoRa має нижчу швидкість передавання даних, однак для даної системи це не є недоліком. Результат вимірювання температури та ідентифікаційні дані пацієнта займають невеликий обсяг пам'яті, тому навіть низька швидкість передавання повністю достатня для виконання поставленого завдання. Натомість система отримує значно більшу дальність зв'язку, кращу енергоефективність та можливість роботи без постійного підключення до WiFi-мережі.

Також важливо, що модулі SX1278 мають широке поширення, невисоку вартість та підтримуються великою кількістю готових бібліотек для Arduino IDE і ESP32. Це спрощує програмну реалізацію, дозволяє швидко налаштувати частоту, потужність передавання, швидкість обміну, параметри модуляції та формат пакетів даних. Наявність готових прикладів роботи з ESP32 дає змогу скоротити час розроблення та налагодження апаратно-програмної частини системи.

У проєктованій системі LoRa-модем виконує роль головного каналу передавання результатів вимірювань на сервер. Після того як пацієнт

ідентифікується за допомогою RFID-картки, а інфрачервоний датчик вимірює температуру рогівки ока, мікроконтролер ESP32 формує інформаційний пакет і передає його через LoRa-модуль до приймального шлюзу. У разі відсутності LoRa-зв'язку система може використовувати резервні канали WiFi або Bluetooth, однак саме LoRa забезпечує найбільшу дальність і незалежність від локальної мережевої інфраструктури.

2.3 Проектування алгоритму роботи комп'ютерної системи

Розроблений алгоритм (див. рис. 2.7) описує повний цикл функціонування комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини, починаючи від ввімкнення обладнання та закінчуючи передаванням результатів вимірювання до медичної інформаційної системи. Основною метою алгоритму є автоматизація процесу ідентифікації пацієнта, вимірювання температури рогівки ока та збереження отриманих результатів у базі даних без участі медичного персоналу. Такий підхід дозволяє підвищити швидкість проведення обстеження, зменшити кількість можливих помилок та забезпечити надійне зберігання медичної інформації.

Робота алгоритму починається з етапу запуску та ініціалізації системи. На цьому етапі мікроконтролер ESP32 налаштовує всі підключені периферійні модулі, необхідні для функціонування пристрою. Виконується запуск шини I2C, через яку працюють LCD-дисплей та інфрачервоний датчик температури MLX90614, ініціалізується RFID-зчитувач для ідентифікації пацієнтів, налаштовуються модулі WiFi та Bluetooth для передачі інформації, а також запускається LoRa-модем SX1278, який використовується як основний канал зв'язку з медичним сервером. Після завершення перевірки працездатності всіх модулів на дисплеї з'являється повідомлення про готовність системи до роботи.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						37
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

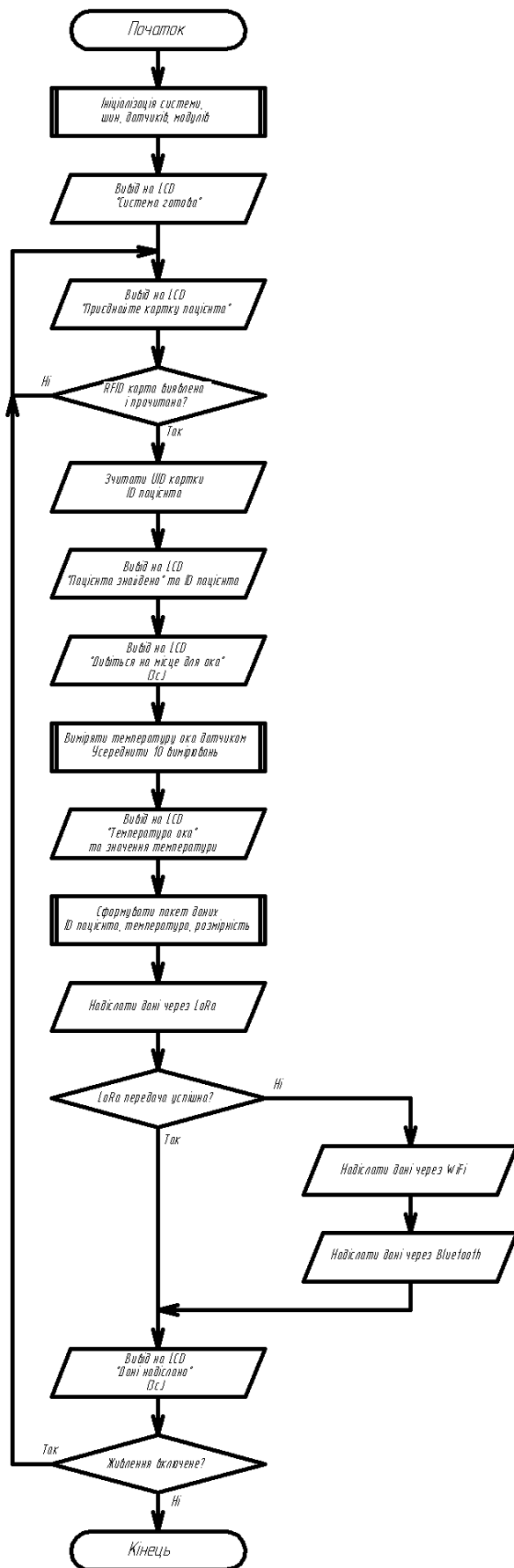


Рисунок 2.7 – Блок схема алгоритму роботи комп’ютерної системи

Далі алгоритм переходить у режим очікування пацієнта. На LCD-дисплеї відображається повідомлення із запрошенням прикласти RFID-картку до зчитувача. У цьому режимі система постійно контролює наявність RFID-мітки в зоні дії антени зчитувача. Якщо картка відсутня, алгоритм продовжує перебувати в режимі очікування та не переходить до наступних етапів роботи. Таким чином забезпечується захист від помилкового вимірювання без попередньої ідентифікації пацієнта.

Після виявлення RFID-картки виконується процедура її зчитування. З RFID-мітки отримується унікальний ідентифікаційний номер, який використовується для визначення конкретного пацієнта в медичній базі даних. Після успішного завершення ідентифікації на дисплей виводиться повідомлення про знайденого пацієнта та його ідентифікатор. Завдяки цьому всі подальші результати вимірювання автоматично прив'язуються до відповідної електронної медичної картки.

Після завершення процедури ідентифікації алгоритм переходить до підготовки вимірювання температури. На LCD-дисплеї з'являється повідомлення з інструкцією для пацієнта подивитися в окуляр вимірювального пристрою. Передбачена коротка затримка, протягом якої користувач має можливість правильно розташувати око відносно інфрачервоного датчика. Це необхідно для забезпечення стабільних умов вимірювання та підвищення точності отриманих результатів.

Після завершення позиціонування запускається процедура безконтактного вимірювання температури рогівки ока. Для підвищення достовірності результатів датчик MLX90614 виконує серію послідовних вимірювань. Кожне виміряне значення передається до мікроконтролера, де виконується математичне усереднення отриманих результатів. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових похибок, шумів вимірювання та

незначних переміщень пацієнта під час процедури. Після завершення обробки формується остаточне значення температури рогівки ока.

Отриманий результат відображається на LCD-дисплеї, що дозволяє користувачу або оператору одразу ознайомитися з виміряною температурою. Після цього мікроконтролер формує пакет даних, який містить ідентифікатор пацієнта, значення температури ока та службову інформацію про вимірювання. Саме цей пакет використовується для подальшого передавання результатів до інформаційної системи медичного закладу.

Наступним етапом алгоритму є передавання даних через радіоканал LoRa. Використання LoRa як основного каналу зв'язку пояснюється його здатністю забезпечувати передавання інформації на значні відстані при невеликому енергоспоживанні. Після формування пакета даних система надсилає його через радіомодем SX1278 та виконує перевірку успішності передачі. Якщо передавання через LoRa відбулося успішно, алгоритм переходить до дублювання інформації через інші канали зв'язку. Якщо виникають проблеми з передаванням через LoRa, система все одно продовжує передавання результатів через альтернативні засоби комунікації.

Для підвищення надійності збереження результатів алгоритм додатково використовує WiFi та Bluetooth. Через WiFi дані надсилаються на медичний сервер за допомогою HTTP-запиту, що дозволяє автоматично занести результати вимірювання до електронної історії хвороби пацієнта. Через Bluetooth інформація може бути передана на мобільний пристрій медичного працівника або використовуватися для локального моніторингу роботи системи. Одночасне використання декількох каналів передачі значно знижує ризик втрати даних та підвищує загальну надійність функціонування комплексу.

Після завершення передачі інформації на дисплеї відображається повідомлення про успішне надсилання результатів. Це означає завершення повного циклу обслуговування одного пацієнта. Після короткої затримки

система автоматично повертається до початкового режиму очікування RFID-картки та готова до обслуговування наступного користувача. Завдяки циклічній структурі алгоритму робота пристрою може виконуватися безперервно протягом тривалого часу без необхідності втручання оператора.

2.4 Опис використовуваних бібліотек

Для реалізації комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини в програмному коді використовується набір спеціалізованих бібліотек, які забезпечують взаємодію мікроконтролера ESP32 з датчиками, модулями зв'язку, пристроями відображення інформації та мережевими сервісами. Використання готових бібліотек значно спрощує розроблення програмного забезпечення, підвищує його надійність та дозволяє зосередити увагу на реалізації алгоритму роботи системи замість створення низькорівневих драйверів для кожного апаратного компонента.

Однією з основних бібліотек є Wire.h, яка забезпечує роботу інтерфейсу I2C. Інтерфейс I2C є двопровідною послідовною шиною, що використовується для обміну даними між мікроконтролером та периферійними пристроями. У розробленій системі через шину I2C підключаються безконтактний інфрачервоний датчик температури MLX90614 та LCD-дисплей із модулем розширення на базі PCF8574. Бібліотека Wire.h виконує ініціалізацію шини, керує передаванням і прийманням даних, а також забезпечує адресацію підключених пристроїв. Використання I2C дозволяє значно зменшити кількість сигнальних ліній, необхідних для підключення периферії, що спрощує електричну схему пристрою.

Для роботи з безконтактним інфрачервоним датчиком температури використовується бібліотека Adafruit_MLX90614.h. Вона призначена для взаємодії з датчиками сімейства MLX90614 виробництва Melexis та

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

забезпечує простий доступ до функцій зчитування температури об'єкта і температури навколишнього середовища. Бібліотека виконує всі необхідні операції обміну через інтерфейс I2C, автоматично перетворює отримані дані в градуси Цельсія та надає програмісту готові функції для отримання результатів вимірювання. Завдяки цьому значно спрощується реалізація безконтактного контролю температури рогівки ока.

Для відображення інформації на символьному дисплеї використовується бібліотека LiquidCrystal_I2C.h. Вона забезпечує керування LCD-дисплеями стандарту HD44780 через I2C-адаптер. Бібліотека дозволяє виконувати ініціалізацію дисплея, очищення екрана, керування підсвічуванням, позиціонування курсора та виведення текстових повідомлень. У розробленій системі LCD-дисплей використовується для відображення підказок користувачу, повідомлень про стан роботи системи, результатів RFID-ідентифікації та значень вимірюваної температури. Застосування цієї бібліотеки значно спрощує реалізацію інтерфейсу взаємодії з користувачем.

Для роботи з RFID-зчитувачем використовується бібліотека MFRC522.h. Вона реалізує всі необхідні функції взаємодії з модулем MFRC522 через інтерфейс SPI. Бібліотека забезпечує виявлення RFID-карток, зчитування їхнього унікального ідентифікаційного номера, керування процедурами автентифікації та завершення сеансів зв'язку з карткою. У даному проєкті RFID-модуль використовується для автоматичної ідентифікації пацієнта перед виконанням вимірювання температури. Отриманий унікальний код картки використовується для прив'язування результатів вимірювання до відповідної електронної медичної картки.

Для роботи інтерфейсу SPI застосовується бібліотека SPI.h. Вона забезпечує реалізацію високошвидкісного послідовного обміну даними між ESP32 та периферійними модулями. Через інтерфейс SPI у розробленій системі працюють RFID-зчитувач MFRC522 та радіомодем LoRa SX1278.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						42
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Бібліотека відповідає за налаштування параметрів передачі, синхронізацію обміну даними та керування лініями вибору пристроїв. Завдяки використанню SPI забезпечується швидкий та надійний обмін інформацією між мікроконтролером і зовнішніми модулями.

Для організації далекого бездротового зв'язку використовується бібліотека LoRa.h. Вона призначена для роботи з радіомодемами сімейства SX1276, SX1278 та сумісними пристроями. Бібліотека забезпечує налаштування робочої частоти, параметрів модуляції, потужності передавання та формування пакетів даних. У даній системі LoRa використовується як основний канал передавання результатів вимірювання температури на сервер або шлюз збору даних. Завдяки високій дальності зв'язку та низькому енергоспоживанню технологія LoRa є ефективним рішенням для медичних інформаційних систем, що працюють на значних відстанях від центрального сервера.

Для реалізації бездротового зв'язку через мережу WiFi використовується бібліотека WiFi.h. Вона забезпечує підключення мікроконтролера ESP32 до локальної бездротової мережі, отримання мережевих параметрів та підтримку TCP/IP-протоколів. Через WiFi система може передавати результати вимірювань безпосередньо до медичного сервера або до інформаційної системи лікувального закладу. Використання WiFi дозволяє забезпечити високу швидкість передавання даних та інтеграцію з існуючою мережевою інфраструктурою.

Для надсилання даних на сервер використовується бібліотека HTTPClient.h. Вона реалізує підтримку HTTP-протоколу та дозволяє формувати GET і POST-запити до веб-серверів. У розробленій системі ця бібліотека використовується для передавання результатів вимірювання температури та ідентифікаційних даних пацієнта до серверної частини медичної інформаційної системи. Бібліотека забезпечує встановлення з'єднання, передавання даних та обробку відповідей сервера.

Для реалізації Bluetooth-зв'язку використовується бібліотека BluetoothSerial.h. Вона забезпечує роботу ESP32 у режимі бездротового послідовного порту та дозволяє передавати інформацію між мікроконтролером і мобільними пристроями. У даному проєкті Bluetooth використовується як додатковий канал передавання результатів вимірювань на смартфон, планшет або комп'ютер медичного працівника. Це дозволяє здійснювати локальний моніторинг роботи системи та отримувати результати навіть за відсутності мережі WiFi або LoRa-зв'язку.

2.5 UML-діаграма станів

UML-діаграма станів (див. рис. 2.8) для комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини відображає послідовність основних режимів роботи пристрою та переходи між ними під час обслуговування пацієнта. На початку система переходить у стан ініціалізації, у якому мікроконтролер ESP32 налаштовує всі необхідні апаратні модулі та інтерфейси. На цьому етапі запускається шина I2C для взаємодії з LCD-дисплеєм та інфрачервоним датчиком температури MLX90614, ініціалізується RFID-зчитувач для розпізнавання пацієнта, налаштовуються модулі WiFi, Bluetooth і LoRa для передавання даних. Після завершення ініціалізації система переходить у стан готовності до роботи, у якому на дисплеї відображається повідомлення з проханням прикласти RFID-картку.

Наступним є стан очікування RFID-картки. У цьому режимі система не виконує вимірювання температури, а лише контролює наявність картки в зоні дії RFID-зчитувача. Якщо картка не виявлена, система залишається в цьому стані та продовжує очікування. Якщо картка виявлена і її код успішно зчитано, відбувається перехід до стану ідентифікації пацієнта. У цьому стані з RFID-картки отримується унікальний ідентифікатор, який використовується для пошуку пацієнта в медичній базі даних та подальшого

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						44
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

прив'язування результатів вимірювання до його електронної історії хвороби. На LCD-дисплеї виводиться повідомлення про успішне розпізнавання пацієнта.

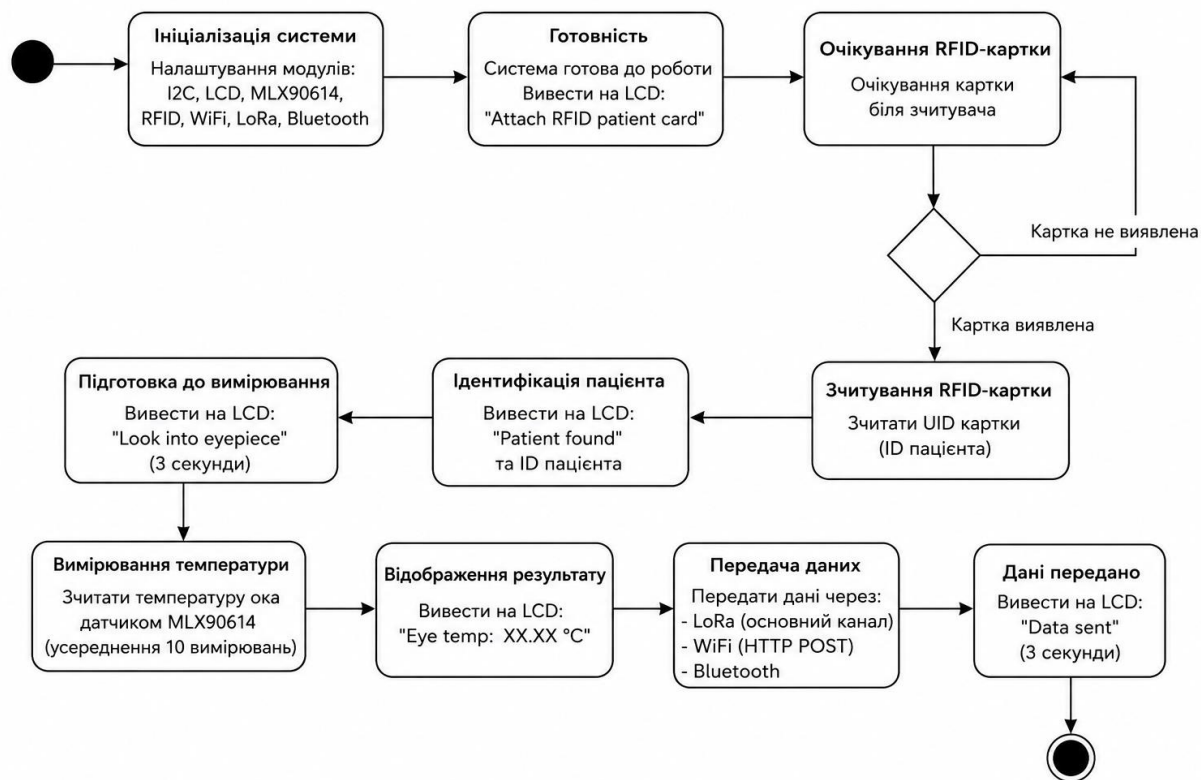


Рисунок 2.8 – UML-діаграма станів

Після ідентифікації система переходить у стан підготовки до вимірювання. У цьому режимі пацієнту надається інструкція подивитися в окуляр пристрою, де розташований інфрачервоний датчик температури. Коротка затримка дає можливість правильно розташувати око відносно вимірювального елемента. Це важливо для підвищення точності результату, оскільки безконтактне вимірювання температури залежить від правильного наведення датчика на рогівку ока.

Далі система переходить у стан вимірювання температури. Інфрачервоний датчик MLX90614 виконує серію вимірювань температури поверхні рогівки без фізичного контакту з оком. Отримані значення

передаються до мікроконтролера ESP32, де виконується їх усереднення. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових похибок, шумів і незначних рухів пацієнта. Після обробки формується остаточне значення температури ока.

Після завершення вимірювання система переходить у стан відображення результату. На LCD-дисплеї виводиться виміряне значення температури рогівки, що дозволяє пацієнту або медичному працівнику одразу побачити результат. Далі система формує пакет даних, який містить ідентифікатор пацієнта, значення температури та службову інформацію про одиницю вимірювання. Цей пакет потрібний для подальшого передавання результатів до медичної інформаційної системи.

Наступним станом є передавання даних. У ньому мікроконтролер надсилає сформований пакет через основний канал LoRa, який забезпечує найбільшу дальність зв'язку. Додатково результати можуть передаватися через WiFi за допомогою HTTP-запиту на сервер та через Bluetooth для локального приймання інформації на мобільному пристрої або комп'ютері медичного працівника. Використання декількох каналів зв'язку підвищує надійність системи та зменшує ризик втрати результатів вимірювання.

Після успішного передавання інформації система переходить у стан завершення циклу, у якому на LCD-дисплей виводиться повідомлення про надсилання даних. Після короткої затримки система повертається до стану готовності та знову очікує нову RFID-картку. Таким чином UML-діаграма станів показує циклічну роботу пристрою: ініціалізація, очікування пацієнта, RFID-ідентифікація, підготовка до вимірювання, безконтактне визначення температури рогівки, відображення результату, передавання даних і повернення до початкового режиму. Така послідовність станів забезпечує автоматизовану, логічну та зручну роботу системи безконтактного контролю температури ока людини.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						46
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання роботи системи

Моделювання роботи комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини проводимо в онлайн симуляторі, який моделює роботу ESP32 з різними пристроями [4-9]. Для початку моделювання приєднуємо на шину I2C LCD екран, (див. рис. 3.1).

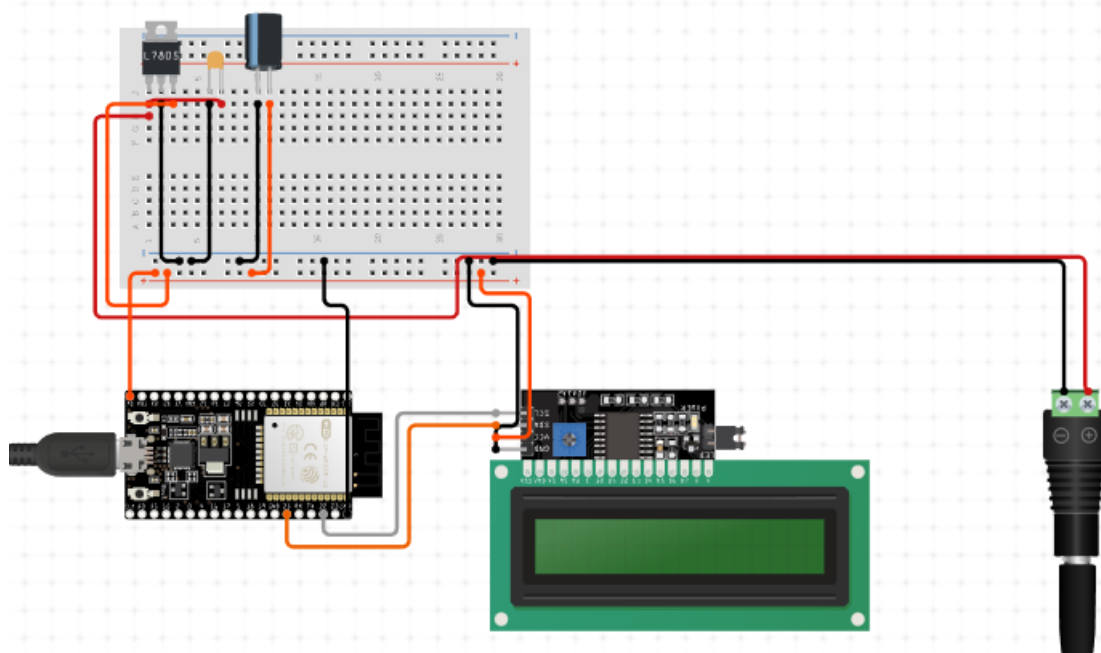


Рисунок 3.1 – Приєднання на шину I2C LCD екрана

Моделюємо роботу шини I2C та виведення на екран текст.

Наступним кроком приєднуємо ІЧ термометр (див. рис. 3.2) також на шину I2C але з іншою адресою, щоб не було конфліктів по шині. Тобто для початку змодельовано роботу всіх пристроїв на шині I2C, а далі моделюємо роботу пристроїв на іншій шині SPI.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		Чепурний А.Е.			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевір.		Стадник Н.Б.					47	15
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

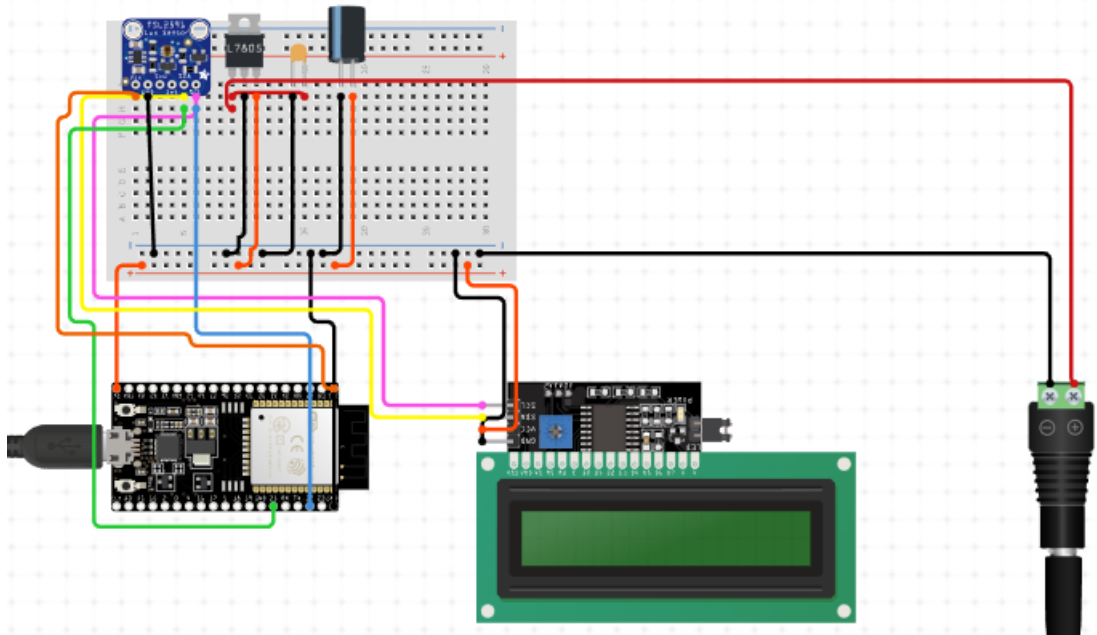


Рисунок 3.2 – Приєднання ІЧ термометра на шину I2C

На шину SPI підключаємо модуль радіочастотної ідентифікації RFID (див. рис. 3.3), перевіряємо частину коду, що керує ним.

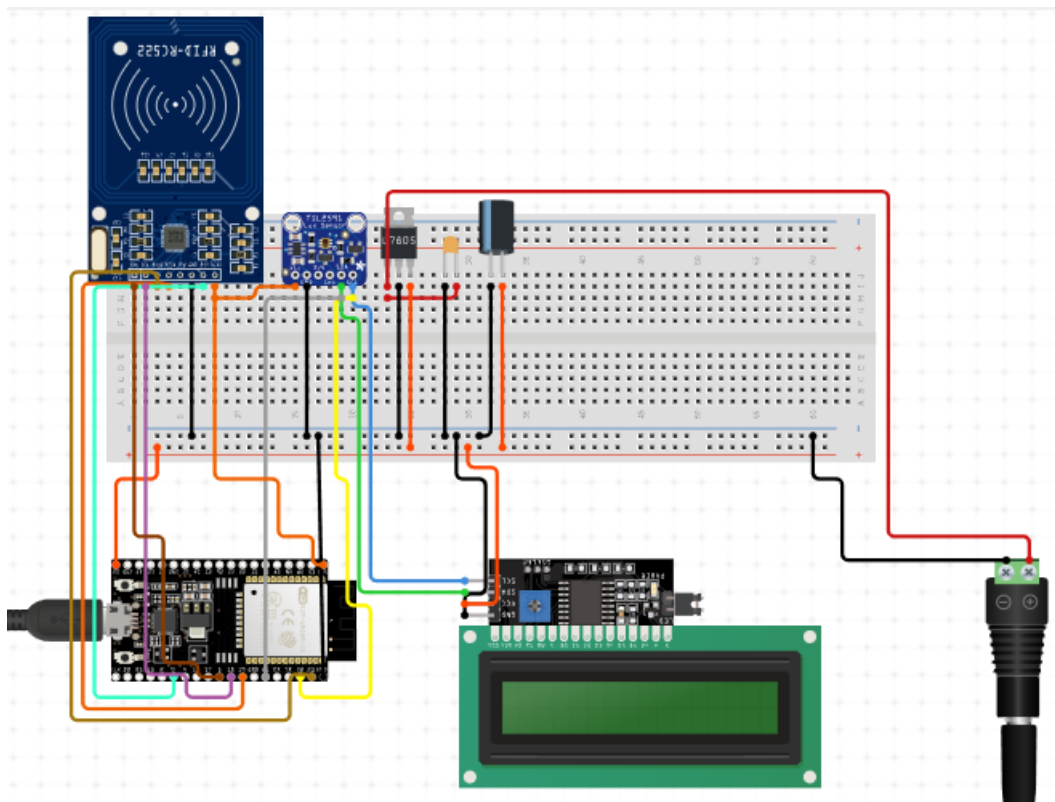


Рисунок 3.3 – Приєднання модуля радіочастотної ідентифікації RFID

Також на шину SPI підключаємо радіомодем LoRa (див. рис. 3.4).

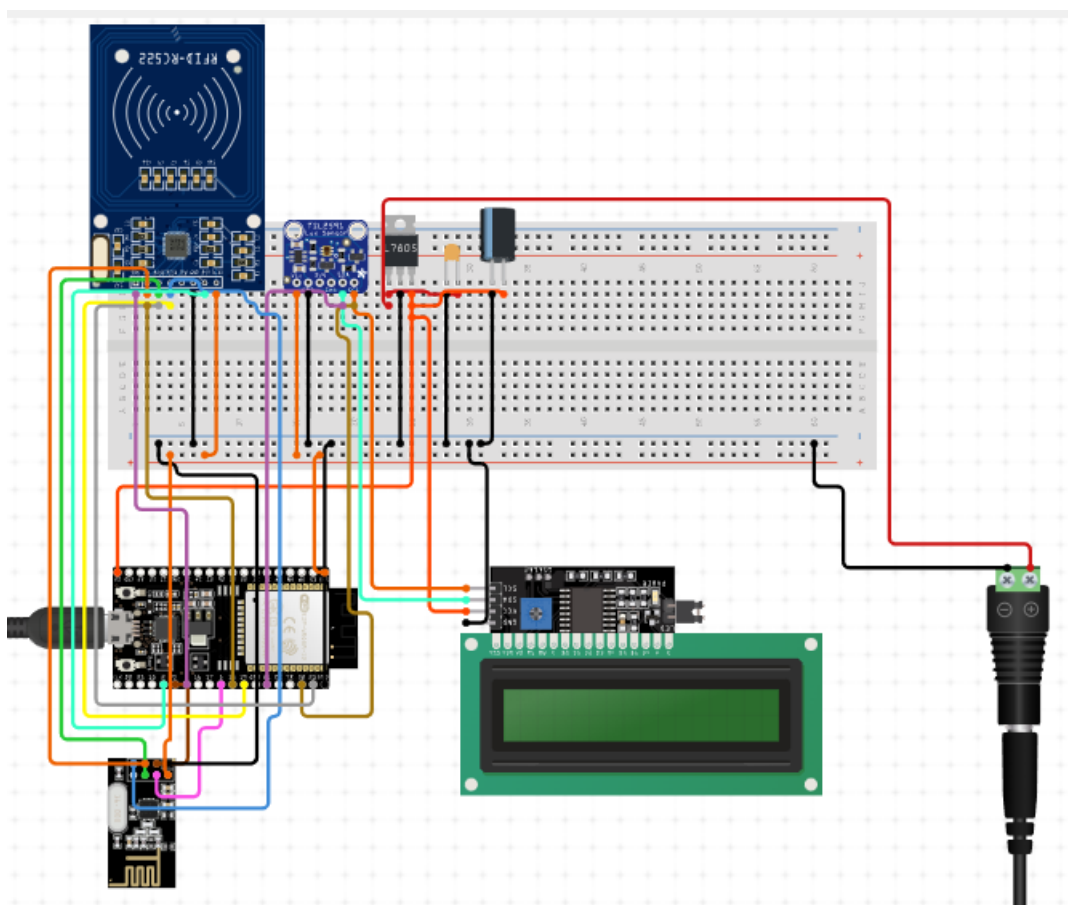


Рисунок 3.4 – Приєднання на шину SPI радіомодему LoRa

Тобто покроково підключили пристрої на шину SPI та перевірили коректність їх роботи, адресацію та обмін інформацією. Також перевірили працездатність коду програми для мікроконтролера ESP32, який наведено в наступному підрозділі.

3.2 Опис коду програми роботи системи

На початку програми підключаються необхідні бібліотеки, які забезпечують роботу всіх апаратних модулів системи. Бібліотека `wire.h` використовується для роботи з шиною I2C, через яку мікроконтролер ESP32 обмінюється даними з інфрачервоним датчиком температури MLX90614 та LCD-дисплеєм. Бібліотеки `WiFi.h` і `HTTPClient.h` потрібні для підключення

ESP32 до бездротової мережі WiFi та передавання результатів вимірювання на сервер за допомогою HTTP-запиту. Бібліотека `BluetoothSerial.h` забезпечує роботу Bluetooth-зв'язку, який використовується як додатковий канал передавання даних. Бібліотека `LiquidCrystal_I2C.h` призначена для керування LCD-дисплеєм 1602 через I2C-адаптер. Бібліотека `Adafruit_MLX90614.h` використовується для зчитування температури з безконтактного інфрачервоного датчика MLX90614. Бібліотека `SPI.h` забезпечує роботу інтерфейсу SPI, який використовується для RFID-модуля та LoRa-модему. Бібліотека `MFRC522.h` потрібна для роботи зі зчитувачем RFID-карток, а бібліотека `LoRa.h` забезпечує передавання даних через радіомодем LoRa.

```
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <LoRa.h>
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду підключення бібліотек

Далі в коді задаються параметри підключення до WiFi-мережі та адреса сервера, на який будуть надсилатися результати вимірювання температури ока. У змінній `ssid` вказується назва WiFi-мережі, у змінній `password` — пароль доступу до цієї мережі, а у змінній `serverUrl` — адреса серверної частини медичної інформаційної системи. У проєкті ці значення потрібно замінити на фактичні дані мережі медичного закладу та адресу сервера, де зберігається електронна історія хвороби пацієнта.

```
const char* ssid = "YOUR_WIFI_NAME";
const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";
const char* serverUrl = "http://192.168.1.100:8080/eye-temperature";
```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду параметрів WiFi-мережі

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступна частина програми створює об'єкт LCD-дисплея. У рядку `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);` вказується I2C-адреса дисплея 0x27, кількість символів у рядку 16 та кількість рядків 2. Такий дисплей використовується для виведення підказок користувачу, повідомлень про стан системи, результатів RFID-ідентифікації та значення вимірної температури.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Далі створюється об'єкт інфрачервоного датчика температури MLX90614. Цей датчик виконує безконтактне вимірювання температури поверхні рогівки ока. Він працює через інтерфейс I2C, тому підключається до тих самих ліній SDA та SCL, що й LCD-дисплей. Об'єкт `mlx` використовується в програмі для ініціалізації датчика та зчитування температури.

```
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

Для роботи з Bluetooth створюється об'єкт `SerialBT`. Він дозволяє ESP32 працювати як Bluetooth-пристрій і передавати результати вимірювання на смартфон, планшет або комп'ютер. У цій системі Bluetooth використовується як додатковий або резервний канал зв'язку.

```
BluetoothSerial SerialBT;
```

У наступній частині визначаються виводи для підключення RFID-модуля MFRC522. Вивід `RFID_SS_PIN` використовується як лінія вибору пристрою SPI, а `RFID_RST_PIN` — для апаратного скидання RFID-модуля. Після цього створюється об'єкт `rfid`, через який програма буде зчитувати RFID-картки пацієнтів.

```
#define RFID_SS_PIN 5
#define RFID_RST_PIN 27
MFRC522 rfid(RFID_SS_PIN, RFID_RST_PIN);
```

Далі задаються виводи для підключення LoRa-модуля SX1278. Вивід `LORA_SS_PIN` використовується для вибору LoRa-модуля на шині SPI, `LORA_RST_PIN` — для скидання модуля, а `LORA_DIO0_PIN` — для обробки подій приймання або передавання. Частота 433E6 означає роботу LoRa-

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуля на частоті 433 МГц. Same LoRa в цій системі розглядається як головний канал передавання даних на найбільшу відстань.

```
#define LORA_SS_PIN    18
#define LORA_RST_PIN  14
#define LORA_DIO0_PIN 26
#define LORA_FREQ     433E6
```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду підключення LoRa-модуля

Після цього оголошуються глобальні змінні `patientID` та `eyeTemperature`. Змінна `patientID` зберігає унікальний код RFID-картки пацієнта, а змінна `eyeTemperature` зберігає результат вимірювання температури рогівки ока. Ці дані надалі об'єднуються в один інформаційний пакет і передаються на сервер.

```
String patientID = "";
float eyeTemperature = 0.0;
```

Функція `setup()` виконується один раз після ввімкнення або перезавантаження мікроконтролера. На початку запускається послідовний порт `Serial.begin(115200)`, який використовується для налагодження програми та виведення службових повідомлень у монітор порту Arduino IDE.

```
Serial.begin(115200);
```

Далі запускається шина I2C командою `Wire.begin(21, 22);`. Для ESP32 у цьому випадку вивід GPIO21 використовується як SDA, а GPIO22 — як SCL. Через цю шину працюють MLX90614 та LCD-дисплей.

```
Wire.begin(21, 22);
```

Після запуску I2C виконується ініціалізація LCD-дисплея. Команда `lcd.init()` запускає дисплей, `lcd.backlight()` вмикає підсвічування, `lcd.clear()` очищає екран. Далі на дисплей виводиться стартове повідомлення про запуск системи.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

```

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Eye Temp System");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Starting...");
delay(2000);

```

Рисунок 3.8 – Лістинг коду ініціалізація LCD-дисплея

Потім програма перевіряє наявність і працездатність датчика MLX90614. Якщо датчик не виявлено, на LCD-дисплей виводиться повідомлення MLX error!, а програма зупиняється в нескінченному циклі. Це потрібно для того, щоб система не працювала без основного вимірювального елемента.

```

if (!mlx.begin()) {
  lcd.clear();
  lcd.print("MLX error!");
  while (true);
}

```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду перевірки датчика MLX90614

Далі запускається SPI-інтерфейс і ініціалізується RFID-модуль MFRC522. Команда SPI.begin() активує SPI-шину, а rfid.PCD_Init() готує RFID-зчитувач до роботи з картками пацієнтів.

```

SPI.begin();
rfid.PCD_Init();

```

Після цього запускається Bluetooth-з'єднання. Пристрій отримує ім'я ESP32_EyeTemp, під яким його можна буде знайти зі смартфона, планшета або комп'ютера. Через цей канал система може передавати результати вимірювання або службові повідомлення.

```

SerialBT.begin("ESP32_EyeTemp");

```

Далі виконується підключення до WiFi-мережі. Команда WiFi.begin(ssid, password) запускає процес підключення. На LCD-

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дисплеї відображається повідомлення `WiFi connect....`. Програма очікує підключення протягом приблизно 8 секунд. Якщо підключення не відбулося, система все одно продовжує роботу, оскільки має інші канали передавання даних — LoRa та Bluetooth.

```
WiFi.begin(ssid, password);  
lcd.clear();  
lcd.print("WiFi connect...");  
unsigned long startTime = millis();  
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startTime <  
8000) {  
  delay(500);  
  Serial.print(".");  
}
```

Рисунок 3.10 – Лістинг коду підключення до WiFi-мережі

Наступним кроком ініціалізується LoRa-модуль. Команда `LoRa.setPins()` задає виводи, які використовуються для керування LoRa-модемом, а `LoRa.begin(LORA_FREQ)` запускає роботу модуля на частоті 433 МГц. Якщо модуль не запускається, на дисплей виводиться повідомлення про помилку, але програма не зупиняється повністю, оскільки дані можуть бути передані через WiFi або Bluetooth.

```
LoRa.setPins(LORA_SS_PIN, LORA_RST_PIN, LORA_DIO0_PIN);  
if (!LoRa.begin(LORA_FREQ)) {  
  lcd.clear();  
  lcd.print("LoRa error!");  
  delay(2000);  
}
```

Рисунок 3.11 – Лістинг коду старту LoRa-модуля

Після ініціалізації всіх модулів система виводить повідомлення `System ready`, що означає готовність пристрою до роботи. Після цього виконання переходить до основного циклу `loop()`.

```
lcd.clear();  
lcd.print("System ready");  
delay(1500);
```

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція `loop()` виконується постійно. На початку кожного циклу LCD-дисплей виводить підказку для користувача прикласти RFID-картку. Це відповідає першому етапу роботи системи — ідентифікації пацієнта перед вимірюванням температури ока.

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Attach RFID");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("patient card");
```

Рисунок 3.12 – Лістинг коду підказки прикласти RFID-картку

Після виведення підказки викликається функція `readRFID()`. Вона очікує появи RFID-картки біля зчитувача, зчитує її унікальний код і повертає цей код у змінну `patientID`. Якщо картку не прикладено, програма залишається в режимі очікування.

```
patientID = readRFID();
```

Якщо код пацієнта успішно зчитано, програма виводить на дисплей повідомлення `Patient found` і частину ідентифікатора пацієнта. Це підтверджує, що пацієнт зареєстрований у системі та можна переходити до вимірювання температури рогівки.

```
if (patientID != "") {  
  lcd.clear();  
  lcd.print("Patient found");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print(patientID);  
  delay(2000);  
}
```

Рисунок 3.13 – Лістинг коду виводу ідентифікатора пацієнта

Далі система виводить інструкцію для пацієнта подивитися в окуляр вимірювального пристрою. Затримка `delay(3000)` дає користувачу час правильно розташувати око відносно інфрачервоного датчика.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

```

lcd.clear();
lcd.print("Look into");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("eyepiece");
delay(3000);

```

Рисунок 3.14 – Лістинг коду подивитися в окуляр пристрою

Після цього викликається функція `measureEyeTemperature()`, яка виконує безконтактне вимірювання температури. Отримане значення записується у змінну `eyeTemperature`.

```
eyeTemperature = measureEyeTemperature();
```

Результат вимірювання виводиться на LCD-дисплей. Температура відображається з двома знаками після коми, що дозволяє отримати більш зручне для аналізу значення.

```

lcd.clear();
lcd.print("Eye temp:");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(eyeTemperature, 2);
lcd.print(" C");
delay(2000);

```

Рисунок 3.15 – Лістинг коду, результат виводиться на LCD-дисплей

Далі створюється інформаційний пакет для передавання. Для цього викликається функція `createDataPacket()`, яка об'єднує RFID-код пацієнта, температуру ока та одиницю вимірювання в один текстовий рядок.

```
String dataPacket = createDataPacket(patientID, eyeTemperature);
```

Першим каналом передавання використовується LoRa, оскільки за умовами проєкту це головний канал зв'язку з найбільшою дальністю. Функція `sendByLoRa()` передає інформаційний пакет через радіомодем SX1278.

```
bool sentLoRa = sendByLoRa(dataPacket);
```

Після передавання через LoRa програма також надсилає дані через WiFi та Bluetooth. У наведеному коді ці канали фактично використовуються

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як дублюючі. Це підвищує надійність системи, оскільки результат вимірювання може бути отриманий сервером або оператором через декілька каналів зв'язку.

```
if (!sentLoRa) {  
  sendByWiFi(dataPacket);  
  sendByBluetooth(dataPacket);  
} else {  
  sendByWiFi(dataPacket);  
  sendByBluetooth(dataPacket);  
}
```

Рисунок 3.16 – Лістинг коду надсилання даних через WiFi та Bluetooth

Після завершення передавання даних LCD-дисплей виводить повідомлення Data sent, що означає успішне завершення циклу обслуговування одного пацієнта. Після паузи система повертається до початкового стану очікування RFID-картки.

```
lcd.clear();  
lcd.print("Data sent");  
delay(3000);
```

Функція readRFID() відповідає за зчитування RFID-картки. Вона працює в нескінченному циклі, доки біля зчитувача не з'явиться картка. Команди rfid.PICC_IsNewCardPresent() і rfid.PICC_ReadCardSerial() перевіряють наявність картки та зчитують її серійний номер.

```
if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() && rfid.PICC_ReadCardSerial())  
{
```

Після зчитування картки програма формує UID у вигляді текстового рядка. Кожен байт серійного номера RFID-картки перетворюється у шістнадцятковий формат і додається до рядка uid. Якщо байт має значення менше 0x10, перед ним додається нуль для правильного форматування.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
String uid = "";

for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
  if (rfid.uid.uidByte[i] < 0x10) uid += "0";
  uid += String(rfid.uid.uidByte[i], HEX);
}
```

Рисунок 3.17 – Лістинг коду формування UID

Команда `uid.toUpperCase()` переводить усі символи UID у верхній регістр. Це робиться для уніфікації запису ідентифікатора пацієнта, щоб один і той самий код завжди мав однаковий вигляд у базі даних.

```
uid.toUpperCase();
```

Після завершення зчитування RFID-картка переводиться в пасивний стан командами `rfid.PICC_HaltA()` і `rfid.PCD_StopCryptol()`. Це необхідно для коректного завершення сеансу обміну з картою та підготовки зчитувача до роботи з наступною картою.

```
rfid.PICC_HaltA();
rfid.PCD_StopCryptol();
```

Функція `measureEyeTemperature()` виконує вимірювання температури ока. Для підвищення стабільності результату використовується усереднення десяти вимірювань. У циклі програма десять разів зчитує температуру об'єкта з датчика MLX90614 за допомогою команди `mlx.readObjectTempC()`, додає отримані значення до змінної `sum`, а потім ділить суму на кількість вимірювань.

```
float sum = 0.0;
const int samples = 10;

for (int i = 0; i < samples; i++) {
  sum += mlx.readObjectTempC();
  delay(100);
}

return sum / samples;
```

Рисунок 3.18 – Лістинг коду вимірювання температури ока із усередненням

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Усереднення результатів потрібне для зменшення випадкових похибок, які можуть виникати через рух пацієнта, електричні шуми, незначну зміну положення ока або вплив навколишнього середовища. Завдяки цьому кінцеве значення температури є більш стабільним і придатним для запису в медичну базу даних.

Функція `createDataPacket()` формує текстовий пакет даних. У пакет включається ідентифікатор пацієнта, значення температури ока та одиниця вимірювання. Такий формат є простим для передавання через LoRa, WiFi і Bluetooth та може бути легко оброблений сервером.

```
String packet = "";

packet += "PATIENT_ID=";
packet += id;
packet += ";EYE_TEMP=";
packet += String(temp, 2);
packet += ";UNIT=C";

return packet;
```

Рисунок 3.19 – Лістинг коду формування текстового пакету даних

Функція `sendByLoRa()` виконує передавання сформованого пакета через LoRa-модем. Команда `LoRa.beginPacket()` починає формування радіопакета, `LoRa.print(data)` записує в нього текстові дані, а `LoRa.endPacket()` завершує пакет і передає його в ефір. Функція повертає результат передавання.

```
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(data);
int result = LoRa.endPacket();
return result == 1;
```

Функція `sendByWiFi()` використовується для передавання результату на сервер через WiFi. Спочатку перевіряється, чи підключений ESP32 до мережі. Якщо підключення є, створюється HTTP-запит методом POST. Дані передаються на адресу, задану в змінній `serverUrl`.

```

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  HTTPClient http;

  http.begin(serverUrl);
  http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

  String postData = "data=" + data;
  int httpCode = http.POST(postData);

  http.end();
}

```

Рисунок 3.20 – Лістинг коду передавання результату на сервер через WiFi

Використання HTTP-запиту дозволяє інтегрувати пристрій з серверною частиною медичної інформаційної системи. Сервер може прийняти дані, розпізнати ідентифікатор пацієнта, записати температуру в його електронну історію хвороби та зберегти час проведення вимірювання.

Функція `sendByBluetooth()` передає той самий пакет даних через Bluetooth. Це може бути корисним для локального контролю, налагодження системи або передавання результатів на планшет медичного працівника.

```

void sendByBluetooth(String data) {
  SerialBT.println(data);

  Serial.print("Bluetooth send: ");
  Serial.println(data);
}

```

Рисунок 3.21 – Лістинг коду передавання даних через Bluetooth

У цілому програма реалізує послідовний алгоритм роботи системи: запуск і перевірка модулів, очікування RFID-картки, ідентифікація пацієнта, виведення підказок на LCD-дисплей, вимірювання температури роги́вки ока інфрачервоним датчиком, формування пакета даних і передавання результату через LoRa, WiFi та Bluetooth. Така структура відповідає принципу роботи комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини та

забезпечує автоматичне внесення результатів вимірювання до медичної бази даних.

Основною перевагою наведеного коду є модульність. Кожна функція відповідає за окрему дію: `readRFID()` — за ідентифікацію пацієнта, `measureEyeTemperature()` — за вимірювання температури, `createDataPacket()` — за формування даних, `sendByLoRa()` — за головний канал зв'язку, `sendByWiFi()` — за мережеву передачу, а `sendByBluetooth()` — за локальний бездротовий канал. Такий підхід спрощує налагодження, модернізацію та подальший розвиток програми.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						61
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при шоку

Шок є надзвичайно небезпечним для життя патологічним станом організму, який виникає у відповідь на дію сильних ушкоджувальних факторів і супроводжується різким порушенням кровообігу, дихання, обміну речовин та діяльності життєво важливих органів. Причинами розвитку шоку можуть бути значна крововтрата, тяжкі травми, опіки, обмороження, отруєння, сильний біль, алергічні реакції, інфекційні захворювання та інші надзвичайні стани. Небезпека шоку полягає в тому, що внаслідок недостатнього кровопостачання тканин і органів виникає кисневе голодування, яке може швидко призвести до незворотних змін в організмі та смерті потерпілого. Саме тому своєчасне надання долікарської допомоги має вирішальне значення для збереження життя людини.

Основними ознаками шоку є різка слабкість, блідість шкіри, холодний липкий піт, прискорений слабкий пульс, зниження артеріального тиску, спрага, запаморочення, відчуття страху та занепокоєння. У потерпілого можуть спостерігатися прискорене поверхневе дихання, тремтіння кінцівок, порушення свідомості, а в тяжких випадках — її повна втрата. При прогресуванні шоку стан людини швидко погіршується, що потребує негайного втручання та виклику екстреної медичної допомоги.

Першочерговим завданням долікарської допомоги є усунення або послаблення дії причини, яка викликала шок. Якщо причиною стала кровотеча, необхідно негайно її зупинити шляхом накладання пов'язки, джгута або використання інших методів тимчасової зупинки кровотечі. При травмах слід забезпечити нерухомість ушкоджених частин тіла за допомогою

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Чепурний А.Е.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Стадник Н.Б.					62	5
Консульт.		Сенчишин В.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

шин або підручних засобів. Якщо шок виник унаслідок опіку, обмороження чи отруєння, необхідно максимально швидко припинити дію ушкоджувального фактора та надати відповідну допомогу.

Після усунення безпосередньої небезпеки потерпілого необхідно покласти в горизонтальне положення. Якщо немає підозри на травму голови, шиї, хребта або нижніх кінцівок, ноги бажано підняти приблизно на 20–30 сантиметрів для покращення кровопостачання життєво важливих органів. Такий захід сприяє припливу крові до серця та головного мозку. Потерпілому необхідно забезпечити повний фізичний і психологічний спокій, оскільки будь-яке хвилювання або зайві рухи можуть погіршити його стан.

Важливим елементом допомоги є підтримання нормальної температури тіла. Потерпілого слід укрити ковдрою, курткою або іншими теплими речами, особливо в холодну пору року. Водночас не можна перегрівати людину або використовувати дуже гарячі грілки. Якщо потерпілий перебуває при свідомості, не має ушкоджень органів черевної порожнини та не потребує термінового оперативного втручання, йому можна давати тепле пиття невеликими порціями. Проте при тяжких травмах живота, непритомному стані або ризику блювання давати їжу та напої забороняється.

Під час надання допомоги необхідно постійно контролювати життєво важливі функції потерпілого. Слід стежити за рівнем свідомості, частотою дихання та пульсом. У разі втрати свідомості потерпілого необхідно покласти у стабільне бокове положення для запобігання западінню язика та потраплянню блювотних мас у дихальні шляхи. Якщо дихання або серцева діяльність відсутні, необхідно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію та продовжувати її до відновлення життєвих функцій або прибуття медичних працівників.

Особливу увагу слід приділяти випадкам анафілактичного шоку, який може виникати внаслідок алергічної реакції на укуси комах, лікарські препарати, харчові продукти або інші алергени. Такий стан характеризується швидким розвитком набряку, утрудненим диханням, різким падінням

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

артеріального тиску та може призвести до смерті протягом короткого часу. У цьому випадку необхідно терміново викликати швидку медичну допомогу, забезпечити доступ свіжого повітря та уважно контролювати стан потерпілого до прибуття лікарів.

Під час надання долікарської допомоги при шоку категорично забороняється залишати потерпілого без нагляду, змушувати його ходити або виконувати фізичні навантаження, давати алкогольні напої чи застосовувати лікарські препарати без відповідних показань. Такі дії можуть призвести до різкого погіршення стану та розвитку тяжких ускладнень.

4.2 Оцінка травмонебезпеки виробничого процесу

Оцінка травмонебезпеки виробничого процесу є одним із найважливіших напрямів діяльності у сфері охорони праці та безпеки життєдіяльності. Вона спрямована на своєчасне виявлення небезпечних виробничих факторів, визначення рівня ризику виникнення нещасних випадків і розроблення заходів щодо їх попередження. Виробничий процес часто супроводжується дією різноманітних механічних, електричних, фізичних, хімічних та психофізіологічних факторів, які можуть становити загрозу для здоров'я та життя працівників. Саме тому систематичне проведення оцінки травмонебезпеки дозволяє забезпечити належний рівень безпеки праці та знизити рівень виробничого травматизму.

Під травмонебезпекою виробничого процесу розуміють сукупність умов і факторів, які можуть призвести до виникнення травм, аварій або інших небезпечних подій під час виконання трудових обов'язків. Основною метою оцінки травмонебезпеки є визначення потенційних джерел небезпеки, аналіз можливих наслідків їх впливу на працівників та встановлення ефективних способів захисту. Така оцінка проводиться на етапах проєктування виробництва, введення обладнання в експлуатацію, організації

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

нових технологічних процесів, а також під час періодичних перевірок умов праці.

Процес оцінки травмонебезпеки починається з виявлення небезпечних факторів виробничого середовища. До них можуть належати рухомі частини машин і механізмів, підйомно-транспортне обладнання, електроустановки, високі температури, підвищений рівень шуму та вібрації, небезпечні хімічні речовини, робота на висоті, використання ручного інструменту та інші фактори. Особливу увагу приділяють аналізу робочих операцій, під час яких працівник безпосередньо контактує з джерелами потенційної небезпеки.

Наступним етапом є визначення ймовірності виникнення небезпечної події та оцінка можливих наслідків для працівника. При цьому враховуються технічний стан обладнання, рівень автоматизації виробничих процесів, кваліфікація персоналу, дотримання технологічної дисципліни, ефективність засобів колективного та індивідуального захисту, а також статистичні дані про нещасні випадки на аналогічних виробництвах. Чим вища ймовірність виникнення небезпечної ситуації та тяжчі її наслідки, тим вищим вважається рівень травмонебезпеки.

Важливим елементом оцінки є аналіз виробничого обладнання та його відповідності вимогам безпеки. Перевіряється наявність захисних огорожень, блокувальних пристроїв, аварійних вимикачів, систем сигналізації, заземлення та інших технічних засобів захисту. Особлива увага приділяється обладнанню, яке працює під високим тиском, використовує електричну енергію або має рухомі частини, здатні спричинити травмування працівників.

Під час оцінки травмонебезпеки також враховуються умови виробничого середовища. Аналізуються параметри освітлення, мікроклімату, рівень шуму, вібрації, концентрація пилу та шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Неприятливі умови праці можуть сприяти зниженню уваги, швидкій втомлюваності працівників та підвищенню ризику виникнення помилок, які нерідко стають причиною виробничих травм.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Значна увага приділяється людському фактору. Недостатня підготовка працівників, порушення трудової дисципліни, перевтома, стресові ситуації, нехтування правилами безпеки та неправильне використання засобів індивідуального захисту суттєво підвищують рівень травмонебезпеки. Тому оцінка ризиків обов'язково включає аналіз організації праці, системи навчання персоналу та ефективності проведення інструктажів з охорони праці.

Результати оцінки травмонебезпеки використовуються для розроблення профілактичних заходів, спрямованих на усунення або зниження впливу небезпечних факторів. До таких заходів належать модернізація обладнання, впровадження автоматизованих систем керування, удосконалення технологічних процесів, встановлення додаткових засобів захисту, покращення умов праці, проведення навчання персоналу та посилення контролю за дотриманням вимог охорони праці. Ефективність цих заходів регулярно перевіряється шляхом повторних оцінок ризиків та аналізу показників виробничого травматизму.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено аналіз сучасних методів та засобів безконтактного контролю температури людини, досліджено особливості використання температури рогівки ока як одного з інформативних фізіологічних параметрів та розглянуто можливості автоматизації процесу медичного обстеження за допомогою сучасних інформаційних технологій. Виконаний аналіз існуючих технічних рішень показав, що поєднання безконтактного інфрачервоного вимірювання температури та автоматичної ідентифікації пацієнта є перспективним напрямом розвитку сучасних медичних інформаційно-вимірювальних систем.

У роботі розроблено структурну схему системи, алгоритм її функціонування та програмне забезпечення для мікроконтролера ESP32. Реалізований алгоритм забезпечує автоматичну послідовність дій, яка включає ідентифікацію пацієнта, безконтактне вимірювання температури рогівки ока, обробку результатів, формування інформаційного пакета та передачу даних до медичної інформаційної системи. Особливістю розробленого рішення є використання технології LoRa як основного каналу зв'язку, що дозволяє забезпечити передавання даних на значні відстані навіть за відсутності локальної мережевої інфраструктури.

Під час виконання роботи також були побудовані UML-діаграми, які відображають структуру та логіку функціонування програмно-апаратного комплексу. Розроблена UML-діаграма станів дозволила формалізувати послідовність роботи системи та взаємодію її окремих компонентів. Це сприяло підвищенню якості проектування програмного забезпечення та спрощенню процесу його реалізації.

					КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гриценко В. І., Файнзільберг Л. С. Інтелектуальні інформаційні технології в медицині. Київ : Наукова думка, 2019. 423 с.
2. Заяць В. М., Атаманюк Я. В. Біомедичні електронні системи та апарати : навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 356 с.
3. Коваль Г. Д., Бондаренко М. В. Основи медичної інформатики : навчальний посібник. Київ : Медицина, 2020. 288 с.
4. Melexis. MLX90614 Infrared Thermometer for Non-Contact Temperature Measurements URL: <https://www.melexis.com>. (дата звернення: 23.03.2026).
5. Espressif Systems. ESP32 Series SoC Datasheet URL: <https://www.espressif.com>. (дата звернення: 23.03.2026).
6. Semtech Corporation. SX1278 LoRa Long Range Transceiver Datasheet URL: <https://www.semtech.com>. (дата звернення: 23.06.2026).
7. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. – 3rd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2020. 192 p.
8. Barrett S. F., Pack D. J. Embedded Systems: Design and Applications with the 32-Bit ARM Cortex-M Microcontrollers. New Jersey : Pearson Education, 2019. 944 p.
9. Bhaskar K., Kumar A. Internet of Things and Smart Healthcare Systems. Singapore : Springer, 2021. 311 p.
10. 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 ф. навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
11. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

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

13. Лецишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елемента роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.

14. Лецишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.

15. Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.

16. Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.

17. Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.

18. Геврик Є.О. Охорона праці. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

					<i>КС КРБ 123.273.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

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.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На __5__ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., ст.в. Стадник Н. Б.

_____ Чепурний А. Е.

« ____ » _____ 2026 р.

« ____ » _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1. Назва та підстава для виконання роботи.

1.1. Комп'ютерна система безконтактного контролю температури ока людини.

1.2. Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (КРБ) є Наказ по Університету (№ 4/9-189 від 24.04.2026р.).

2. Виконавець.

2.1. Студент групи СІс-41 кафедри КС

Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя
Чепурний Артур Едуардович.

3. Мета роботи.

3.1. Метою роботи є розробити структуру та програмне забезпечення комп'ютерної системи безконтактного контролю температури ока людини.

4. Склад виробу.

4.1. До складу вимірювача повинні входити:

- 1) мікроконтролер ESP32;
- 2) Датчик температури;
- 3) радіомодем SX1278;
- 4) RFID-сканер;
- 5) джерело живлення;
- 6) комплект документації.

5. Технічні вимоги.

5.1. Вимоги по призначенню.

5.1.1. Комп'ютеризована система повинна мати наступні параметри:

- 1) Діапазон вимірюваної температури, °C +10...+50
- 2) Точність вимірювання температури, °C $\pm 0,1$
- 3) Дальність зчитування RFID мітки, мм 0 - 60
- 4) Дальність зчитування температури, мм 20-100

5.1.2. Швидкість обміну даними по повітрю, не менше кбіт/с 1200

5.1.3. Виріб повинен живитись напругою постійного струму, В +12 \pm 2

5.2. Вимоги до умов експлуатації:

5.2.1. Кліматичні умови експлуатації мають відповідати класу 3К3 (або 3К5) згідно з ДСТУ EN 60721-3-3

5.2.2. Температура експлуатації від -45 до +40°C

5.2.3. Відносна вологість до 100% при t=25°C

5.3. Конструктивні вимоги.

5.3.1. Конструювання корпусу приладу в КРБ не передбачено.

5.3.2. Для побудови системи мають бути використані сучасні компоненти з можливістю поверхневого монтажу друкованого вузла.

5.3.3. При побудові системи необхідно передбачити розміщення роз'ємів живлення і обміну даними.

5.3.4. Габаритні розміри при макетуванні, мм, не більше:

довжина 200

ширина 100

висота 100

5.3.5. Маса макету, кг, не більше 0,4

5.3.6. Конструкція макету повинна забезпечувати доступ до всіх комплектуючих виробів при тестуванні.

5.4. Вимоги до надійності.

5.4.1. Система повинна відповідати вимогам ДСТУ 2862-94.

5.4.2. Наробка на відмову, не менше 10000 год.

5.5. Вимоги метрології.

5.5.1. Вимірювання параметрів системи при моделюванні повинно виконуватись на універсальних вимірювальних приладах.

6. Економічні показники.

6.1. Собівартість системи повинна бути не більше 12000 грн.

7. Вимоги до документації.

7.1. Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД, ДСТУ та ГОСТ.

7.2. До складу документації повинно входити:

- 1) ПЗ
- 2) Структурна схема Е1
- 3) Електрична схема Е3
- 4) Модель макета
- 5) Блок схема алгоритму роботи

8. Стадії та етапи розробки КРБ

8.1 Стадії та етапи виконання КРБ наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «ПРОЄКТНА ЧАСТИНА»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.26

9. В дане ТЗ можуть вноситись зміни по узгодженню сторін.

Додаток Б
Перелік елементів

Додаток В

Код програми

```
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <LoRa.h>

// ----- Налаштування WiFi -----
const char* ssid = "YOUR_WIFI_NAME";
const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";
const char* serverUrl = "http://192.168.1.100:8080/eye-temperature";

// ----- LCD -----
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// ----- MLX90614 -----
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

// ----- Bluetooth -----
BluetoothSerial SerialBT;

// ----- RFID MFRC522 -----
#define RFID_SS_PIN 5
#define RFID_RST_PIN 27
MFRC522 rfid(RFID_SS_PIN, RFID_RST_PIN);

// ----- LoRa SX1278 -----
#define LORA_SS_PIN 18
#define LORA_RST_PIN 14
#define LORA_DIO0_PIN 26
#define LORA_FREQ 433E6

String patientID = "";
float eyeTemperature = 0.0;

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

  Wire.begin(21, 22);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Eye Temp System");
```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Starting...");
delay(2000);

if (!mlx.begin()) {
  lcd.clear();
  lcd.print("MLX error!");
  while (true);
}

SPI.begin();
rfid.PCD_Init();

SerialBT.begin("ESP32_EyeTemp");

WiFi.begin(ssid, password);
lcd.clear();
lcd.print("WiFi connect...");
unsigned long startTime = millis();
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startTime <
8000) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

LoRa.setPins(LORA_SS_PIN, LORA_RST_PIN, LORA_DIO0_PIN);
if (!LoRa.begin(LORA_FREQ)) {
  lcd.clear();
  lcd.print("LoRa error!");
  delay(2000);
}

lcd.clear();
lcd.print("System ready");
delay(1500);
}

void loop() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Attach RFID");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("patient card");

  patientID = readRFID();

  if (patientID != "") {
    lcd.clear();
    lcd.print("Patient found");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(patientID);
    delay(2000);
  }
}

```

```

    lcd.clear();
    lcd.print("Look into");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("eyepiece");
    delay(3000);

    eyeTemperature = measureEyeTemperature();

    lcd.clear();
    lcd.print("Eye temp:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(eyeTemperature, 2);
    lcd.print(" C");
    delay(2000);

    String dataPacket = createDataPacket(patientID,
    eyeTemperature);

    bool sentLoRa = sendByLoRa(dataPacket);

    if (!sentLoRa) {
        sendByWiFi(dataPacket);
        sendByBluetooth(dataPacket);
    } else {
        sendByWiFi(dataPacket);
        sendByBluetooth(dataPacket);
    }

    lcd.clear();
    lcd.print("Data sent");
    delay(3000);
}
}

String readRFID() {
    while (true) {
        if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() &&
rfid.PICC_ReadCardSerial()) {
            String uid = "";

            for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
                if (rfid.uid.uidByte[i] < 0x10) uid += "0";
                uid += String(rfid.uid.uidByte[i], HEX);
            }

            uid.toUpperCase();

            rfid.PICC_HaltA();
            rfid.PCD_StopCrypto1();

            Serial.print("RFID UID: ");
            Serial.println(uid);

```

```

        return uid;
    }

    delay(100);
}

float measureEyeTemperature() {
    float sum = 0.0;
    const int samples = 10;

    for (int i = 0; i < samples; i++) {
        sum += mlx.readObjectTempC();
        delay(100);
    }

    return sum / samples;
}

String createDataPacket(String id, float temp) {
    String packet = "";

    packet += "PATIENT_ID=";
    packet += id;
    packet += ";EYE_TEMP=";
    packet += String(temp, 2);
    packet += ";UNIT=C";

    return packet;
}

bool sendByLoRa(String data) {
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(data);
    int result = LoRa.endPacket();

    Serial.print("LoRa send: ");
    Serial.println(data);

    return result == 1;
}

void sendByWiFi(String data) {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;

        http.begin(serverUrl);
        http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-
urlencoded");

        String postData = "data=" + data;
        int httpCode = http.POST(postData);

```

```
    Serial.print("WiFi HTTP code: ");
    Serial.println(httpCode);

    http.end();
} else {
    Serial.println("WiFi not connected");
}
}

void sendByBluetooth(String data) {
    SerialBT.println(data);

    Serial.print("Bluetooth send: ");
    Serial.println(data);
}
```

У кодї треба замінити YOUR_WIFI_NAME, YOUR_WIFI_PASSWORD і serverUrl на дані своєї мережі та сервера.