

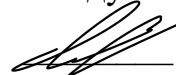
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоінженерії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Сергій ЛІТВІНЦЕВ

«11» червня 2025 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Розробка автоматизованого пристрою для безконтактного
моніторингу температури тіла»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи PI-11

Вербицький Іван Сергійович



Керівник:

К.т.н., доцент

Гусєва Олена Володимирівна



Рецензент:

аспірант

Лемеха В.О.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка)



Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоінженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Сергій ЛІТВИНЦЕВ

«14» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Вербицькому Івану Сергійовичу

1. Тема роботи «Розробка автоматизованого пристрою для безконтактного моніторингу температури тіла», керівник роботи Гусєва Олена Володимирівна, доцент, канд. техн. наук.

затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1841-с

2. Термін подання студентом роботи 11 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Вимірювання температури, передача на веб-інтерфейс, Мікроконтролер ESP32 MiniKit (CP2104), інфрачервоний датчик температури MLX90614, OLED-дисплей 0.96" I2C (SSD1306).

4. Зміст роботи: огляд існуючих аналогів безконтактних стаціонарних вимірювачів температури; обґрунтування вибору апаратних компонентів; розробка електричної та структурної схем; реалізація програмного забезпечення на ESP32; практичне збирання пристрою та експериментальні дослідження; рекомендації щодо покращення пристрою.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) презентацію представлено на 13-ти слайдах

6. Консультанти розділів роботи*

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

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд існуючих аналогів пристрою	20.05 2025	
2	Формування схеми пристрою і вибір комплектуючих	27.05.2025	
3	Розробка програмного супроводження	03.06.2025	
4	Сбірка макету пристрою	07.06.2025	
5	Проведення експериментів	10.062025	
6	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи	13.06.2025	
7	Підготовка презентації та передзахист	15.06.2025	

Студент



Іван ВЕРБИЦЬКИЙ

Керівник



Олена ГУСЄВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи має обсяг 62 сторінок, містить 39 рисунків та ілюстрацій, 5 таблиць, 30 найменувань у переліку посилань.

У дипломній роботі розглянуто процес розробки автоматизованого пристрою для безконтактного вимірювання температури тіла людини на основі мікроконтролера ESP32 MiniKit. Апаратна частина містить інфрачервоний сенсор MLX90614, OLED-дисплей 0.96" (I²C, SSD1306), кнопку запуску вимірювання та реалізований веб-інтерфейс для перегляду результатів у реальному часі. Проведено обґрунтування вибору апаратних компонентів, розроблено електричну схему, реалізовано програмне забезпечення на мові C++ у середовищі Arduino IDE. У роботі здійснено експериментальні дослідження точності та стабільності вимірювань, а також порівняно результати з іншими типами термометрів. Запропоновано напрямки вдосконалення пристрою, зокрема додавання калібрування, корпусу та автономного живлення. Робота має практичне значення для використання в умовах дистанційного медичного моніторингу, зокрема в домашніх або громадських установах.

Ключові слова: безконтактний датчик температури, інфрачервоний сенсор, контроль та моніторинг температури.

ABSTRACT

The thesis describes the process of developing an automated device for non-contact measurement of human body temperature based on the ESP32 MiniKit microcontroller. The hardware includes an MLX90614 infrared sensor, a 0.96" OLED display (I²C, SSD1306), a measurement start button, and a web interface for viewing the results in real time. The choice of hardware components was justified, an electrical circuit was developed, and software in C++ was implemented in the Arduino IDE environment. Experimental studies of the accuracy and stability of measurements were carried out, and the results were compared with other types of thermometers. The directions for improving the device are proposed, including the addition of calibration, housing, and autonomous power supply. The work is of practical importance for use in remote medical monitoring, in particular in home or public institutions.

Keywords: non-contact temperature sensor, infrared sensor, temperature control and monitoring.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
Зміст.....	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
Вступ.....	9
1 Аналіз існуючих приладів для моніторингу температури людини за допомогою інфрачервоних датчиків температури	11
1.1 Інфрачервоне випромінювання	11
1.2 Методи виявлення та вимірювання інфрачервоного випромінювання	12
1.3 Інфрачервоні термометри для медичного застосування.....	13
1.4 Існуючі аналоги настінних ІК термометрів.....	15
1.4.1. Настінні ІЧ термометри на ринку	15
1.4.2 Розробки настінних ІЧ термометрів.....	19
Висновки до Розділу 1	27
2. ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ	29
2.1 Вибір мікроконтролера для створення електричної схеми	29
2.1.1 ESP32-WROOM-32	31
2.1.2 CP2104.....	31
2.2 Вибір інфрачервоного температурного сенсора.....	31
2.3. Вибір і підключення OLED-дисплея.....	35
2.4 Електрична схема.....	38
Висновки до Розділу 2	40

3 Експериментальні випробування	41
3.1 Структурна схема.....	41
3.2 Практична реалізація апаратної частини системи вимірювання температури	42
3.3 Аналіз коду	44
3.4 Експеримент з різними термометрами	50
3.4.1. Ртутний термометр	50
3.4.2. Електронний термометр PARAMED	50
3.4.3. Автоматизований безконтактний термометр (ESP32 + MLX90614).....	51
3.4.4. Врахування температури повітря.....	51
3.4.5. Порівняння вимірювань різними термометрами.....	52
3.5. Експеримент: залежність від відстані до об'єкта	53
3.6. Експеримент: залежність від кута до об'єкта	54
3.7 Порівняльний експеримент з вимірювання температури тіла	55
Висновки до Розділу 3	56
Висновки:	58
Перелік використаних джерел	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ІЧ	інфрачервоний
°C	градус Цельсія — одиниця вимірювання температури
ESP32	мікроконтролер з вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, що використовується для вбудованих систем
GND	загальний провід (земля, «мінус» джерела живлення)
GPIO	порти загального призначення для введення/виведення (англ. <i>General Purpose Input/Output</i>)
HTML	мова розмітки гіпертексту для створення веб-інтерфейсів
I²C	інтерфейс послідовної шини для з'єднання мікросхем (англ. <i>Inter-Integrated Circuit</i>)
IP-адреса	унікальний ідентифікатор пристрою в комп'ютерній мережі
MLX90614	інфрачервоний безконтактний температурний сенсор
NTP	протокол мережевої синхронізації часу (англ. <i>Network Time Protocol</i>)
OLED	органічний світлодіодний дисплей (англ. <i>Organic Light-Emitting Diode</i>)
PWM	широтно-імпульсна модуляція (англ. <i>Pulse Width Modulation</i>)
SCL	лінія тактування в протоколі I ² C (англ. <i>Serial Clock Line</i>)
SDA	лінія даних у протоколі I ² C (англ. <i>Serial Data Line</i>)
SSD1306	контролер монохромного OLED-дисплея з підтримкою інтерфейсів I ² C/SPI
UART	універсальний асинхронний приймач-передавач (англ. <i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>)
VCC	напруга живлення електронного компонента («плюс» джерела живлення)
Wi-Fi	технологія бездротової передачі даних (англ. <i>Wireless Fidelity</i>)

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій, глобальних викликів у сфері охорони здоров'я та зростання уваги до персонального моніторингу фізіологічних показників, особливого значення набувають пристрої для швидкого, точного та безконтактного вимірювання температури тіла. Такий підхід дозволяє не лише знизити ризик розповсюдження інфекційних захворювань, а й реалізувати ефективний дистанційний контроль стану здоров'я у побуті, навчальних закладах, медичних установах чи громадських місцях.

Основною метою дипломної роботи є розробка автоматизованого пристрою для безконтактного моніторингу температури тіла людини, що забезпечує локальне відображення результатів на дисплеї та передавання даних на веб-інтерфейс у режимі реального часу. Завдання реалізується з використанням мікроконтролера ESP32 MiniKit (CP2104), який має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, достатню обчислювальну потужність і підтримку інтерфейсу I²C, що дозволяє ефективно взаємодіяти з периферійними пристроями.

Згідно з поставленою метою, у межах дипломної роботи передбачено вирішення комплексу завдань, пов'язаних із аналізом методів безконтактного вимірювання температури, обґрунтуванням вибору апаратних компонентів, а також з розробкою відповідної електричної та структурної схеми пристрою. Потрібно приділити увагу створенню програмного забезпечення для зчитування, обробки та передачі даних вимірювання, що реалізується на базі сучасного мікроконтролера з підтримкою бездротових технологій. Крім того, у роботі потрібно виконати експериментальне дослідження точності та стабільності роботи пристрою в різних умовах експлуатації, а також сформулювати практичні рекомендації щодо можливих напрямів подальшого вдосконалення розробленої системи.

Структурно робота складається з трьох основних розділів. Перший розділ присвячено теоретичним основам та огляду аналогічних систем. У другому

розділі розглянуто апаратну складову пристрою, особливості підключення модулів та побудову електричної схеми. Третій розділ охоплює реалізацію програмного забезпечення, практичне збирання пристрою та аналіз експериментальних результатів.

Актуальність теми визначається потребою у доступних, портативних та безпечних рішеннях для первинного контролю стану здоров'я людини, а також можливістю розширення функціональності системи в межах сучасних IoT-технологій.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНИХ ДАТЧИКІВ TEMПЕРАТУРИ

Інфрачервоні датчики температури для медичного застосування за останні п'ять років набули бурхливого розвитку через пандемію COVID-19. Такі термометри протягом кількох секунд вимірюють температуру людини у безконтактний спосіб. Розрізняють носимі інфрачервоні датчики температури та стаціонарні (настінні).

В цьому розділі проведено огляд існуючих розробок стаціонарних ІЧ термометрів.

1.1 Інфрачервоне випромінювання

В електромагнітному спектрі **інфрачервоне випромінювання** (лат. *Infra*, ІЧ) обмежується з короткохвильового боку видимим світлом, а з довгохвильового боку – мікрохвильовим випромінюванням, яке належить до радіочастотного діапазону [1]. Границі діапазонів не є строго визначеними (Рис.1.1).



Рис.1.1 – Розподіл хвиль і частот, жовтим прямокутником виділений ІЧ діапазон [1]

За стандартом ISO 20473 [2] інфрачервоне випромінювання поділяється на три діапазони

- *ближнє інфрачервоне випромінювання* – $\lambda = 780 \text{ нм} \dots 3 \text{ мкм}$,
- *середнє інфрачервоне випромінювання* – $\lambda = (3 \dots 50) \text{ мкм}$,
- *далеке інфрачервоне випромінювання* – $\lambda = 50 \text{ мкм} \dots 1 \text{ мм}$.

Людське око не бачить ІЧ випромінювання, органи чуття деяких інших

тварин, наприклад, змії та кажанів, сприймають інфрачервоне випромінювання, яке допомагає їм добре орієнтуватися в темряві.

ІЧ випромінювання – електромагнітне випромінювання, що є одним з найпоширеніших в природі. Воно засноване на тому, що будь-який об'єкт буде виробляти власний нерегулярний рух молекул і атомів у звичайному середовищі і постійно випромінювати теплову інфрачервону енергію, рух молекул і атомів. Чим інтенсивніше, тим більше випромінювана енергія, і навпаки, тим менша випромінювана енергія [1].

ІЧ випромінювання також називають «тепловим випромінюванням» через залежність його спектру та інтенсивності від температури, а також через сприйняття його шкірою людини як відчуття тепла. Довжини хвиль, що випромінюються тілом, залежать від температури нагрівання: чим вищою є температура, тим коротшою є довжина хвилі та тим вищою є інтенсивність випромінювання. Отже, зі зростанням температури, максимум інтенсивності випромінювання зміщується у бік коротших хвиль, тобто в напрямку видимого діапазону. Спектр випромінювання абсолютно чорного тіла лежить здебільше саме в цьому діапазоні.

Інфрачервоні промені випромінюються всіма тілами, які мають температуру вищу за абсолютний нуль (-273.16 K).

1.2 Методи виявлення та вимірювання інфрачервоного випромінювання

Робота приймачів інфрачервоного випромінювання ґрунтується на перетворенні енергії інфрачервоного випромінювання в інші види енергії, що можуть бути виміряні традиційними методами. Існують теплові, фотоелектричні та фотохімічні приймачі інфрачервоного випромінювання [1].

У *теплових приймачах* поглинуте інфрачервоне випромінювання викликає підвищення температури термочутливого елемента, яке тим чи іншим способом реєструється. Теплові приймачі можуть працювати практично в усій області інфрачервоного випромінювання.

У *фотоелектричних приймачах* поглинуте інфрачервоне випромінювання приводить до появи або зміни електричного струму чи напруги. Фотоелектричні приймачі, на відміну від теплових, є селективними приймачами, тобто чутливими лише у певній області спектру.

Багато з видів фотоелектричних приймачів інфрачервоного випромінювання і, особливо, для середньої і далекої області спектру працюють лише в охолодженому стані.

До *фотохімічних приймачів* інфрачервоного випромінювання належать фотоплівки, фотопластинки (інфрапластинки) та інші фотоматеріали. Застосовують їх для вимірювання енергії випромінювання за ступенем почорніння світлочутливого шару внаслідок фотохімічної реакції. Вони є чутливими до випромінювання з довжиною хвилі до 1,3 мкм.

1.3 Інфрачервоні термометри для медичного застосування

Інфрачервоні (ІЧ) термометри є інноваційними високоточними пристроями, які вже завоювали популярність. Також їх ще називають пірометрами або термодетекторами.

Інфрачервоний (ІЧ) термометр призначений швидко і без контакту з досліджуваним об'єктом (на відстані до 3-х метрів) вимірювати його температуру [3].

Стандартний переносний ІЧ медичний термометр, що існує на ринку, має форму, дещо подібну до пістолету. Він оснащений невеликим дисплеєм, на який виводяться результати вимірів (Рис.1.2).



Рис.1.2 – Носимий інфрачервоний термометр

Принцип дії

ІЧ термометр працює за принципом обчислення тепловипромінювання (визначення потужності тепловипромінювання тіла, зазвичай, в діапазоні інфрачервоного (ІЧ) випромінювання і видимого світла. Чутливий вимірювальний елемент знімає дані інфрачервоного випромінювання тіла людини і відображає їх на цифровому дисплеї, в звичному для нас температурному діапазоні.

У середині ІЧ термометр має детектор тепловипромінювання, на інтенсивність і спектр якого прямо впливають температурні показники об'єктів. За допомогою вбудованої електронної системи отримані дані фіксуються і виводяться на дисплей. Інформація подається в зручному форматі, щоб не створювати складнощів для подальшого аналізу [3].

Для переносу інформації на ПК або зовнішній носій досконаліші ІЧ-термометри обладнані WEB-портами.

Для отримання необхідних результатів, прилад потрібно спрямувати на об'єкт. Далі з урахуванням характеристик випромінювання легко і в лічені секунди можна отримати температуру поверхні тіла натисканням і утримуванням «курка».

Переваги:

- Має всі основні функції електронних термометрів (пам'ять вимірів, звукові сигнали, автовідключення тощо).
- Дуже швидко вимірює температуру (всього 1...5 сек.).
- Змінні наконечники дозволяють вирішити питання дезінфекції та гігієни.
- Безконтактна модель дозволяє вимірювати температуру навіть у дітей, що плачуть і сплячих хворих.

Недоліки:

- Залежно від умов вимірювання може бути велика похибка, а в дешевих моделях точність вимірювання може перевищувати 0,3-0,5 градусів.
- Вимірювати температуру можна тільки в певних частинах тіла (лоб, вуха).

- При запаленні середнього вуха, вушні моделі дають неточні результати.
- Також недостовірні результати вимірів для дітей, які плачуть.
- Вимагає періодичної повірки.
- Висока вартість.

Окрім медичного застосування ІЧ-термометри можуть також використовуватися для вимірювання температурних значень поверхонь майже будь-яких об'єктів. Завдяки йому вдається здійснювати контроль і своєчасно регулювати температуру та її перепади в промисловості і побуті, в різних предметах і їх деталях за умови, що їх діаметр становить 13 мм і більше [3].

1.4 Існуючі аналоги настінних ІК термометрів

1.4.1. Настінні ІЧ термометри на ринку

Настінний безконтактний інфрачервоний термометр із USB-зарядкою, GP-100 [4] (Рис.1.3)

Переваги:

- Датчик наближення;
- Оповіщення про високу температуру;
- Автономне живлення;
- Пристрій оснащений лазерним сенсором, що автоматично запускає процес вимірювання при наближенні до нього;



Рис.1.3 – ІЧ термометр GP-100

- Для відображення температури GP-100 має великий LED-дисплей із підсвічуванням. Якщо температура виміру перевищує допустиму норму, збоку на корпусі загоряються яскравим світлом світлодіоди, а на екрані з'являються відповідні символи. Для живлення модель використовує власні акумуляторні батареї, поповнення енергії яких здійснюється через роз'єм USB.

Характеристики

- Відстань виміру: 5-10 см;

- Діапазон інфрачервоного виміру температури: 0-50 °С;
- Точність виміру: $\pm 0,2$ °С;
- Час відгуку: 0.5 сек.;
- Потужність: 1 Вт;
- Час роботи в режимі очікування: близько одного тижня;
- Спосіб заряджання: заряджання через USB або акумулятор 18650;
- Вхід: USB DC 5V;
- Спосіб встановлення: двосторонній скотч, кріплення кронштейна;
- Температура навколишнього середовища: 10 °С ~ 40 °С (рекомендовано 15 °С ~ 35 °С);
- Розмір: 170*115*140 мм;
- Вага 350 г.

Настінний автоматичний безконтактний інфрачервоний термометр для вимірювання температури тіла Alphamed [5] (Рис.1.4)

Широко використовується вдома або на заводі, офісних будівлях, торгових центрах, школах, митницях, лікарнях, супермаркетах, громадському транспорті та інших місцях з інтенсивним рухом.

Переваги:

- Автоматичний вимір: відстань до об'єкту від 1 см до 10 см;
- Висока адаптивність температури навколишнього середовища, може використовуватися в складних умовах;
- Можна встановити на штатив або зафіксувати на стіні для забезпечення



Рис.1.4 – ІЧ термометр Alphamed

особистої безпеки;

- Великий розмір РК-екрана з індикаторами температури;
- Сигналізація для підвищеної температури тіла – звукове і візуальне попередження;
- Доступні два температурні блоки Цельсія (°C) та Фаренгейта (°F);
- Колірні індикатори температури: термометр обладнаний двома індикаторами температури у вигляді смужки внизу числових значень, зеленою та червоною:
 - Зелений індикатор свідчить про нормальну температуру тіла не вище 37,5°C.
 - Червоний індикатор говорить про підвищену температуру в межах 37,5...43°C.
- Звукове сповіщення: термометр видає звуковий сигнал при включенні, один довгий звуковий сигнал при нормальній температурі, і десять коротких при підвищеній температурі тіла більше 37,5°C.
- Кнопка СТАРТ/СТОП
- Отвор для настінного кріплення та для двосторонньої стрічки: Інфрачервоний термометр дуже легко монтувати на стіні за допомогою цвяхів, гачків, двосторонньої клейкої стрічки, що йде в комплекті. Також його можна закріпити на штативі.

Характеристики:

Час вимірювання температури 1 сек.

Точність вимірів $\pm 0,2^{\circ}\text{C}/\pm 0,4^{\circ}\text{F}$;

Діапазон вимірювання температури тіла $32,0^{\circ}\text{C} \sim 43,0^{\circ}\text{C}$ ($89,6^{\circ}\text{F} \sim 109,4^{\circ}\text{F}$);

Вимірювання температури на відстані 1-10 см

Звукове сповіщення про вимірювання температури

Живлення літієва батарея 18650 ємністю 2000мА/год/ USB type-c;

Розмір 14 x 9.3 x 9.3 см;

Вага 151 г.

Автоматичний настінний ІЧ термометр Hi8us HG02 з голосовим повідомленням [6] (Рис.1.5)

Широко застосовується в приміщеннях, громадському транспорті та місцях з інтенсивним рухом.

Переваги:

- Автоматичне вимірювання: відстань вимірювання від 1 см до 10 см;
- Висока адаптивність до температури навколишнього середовища, може використовуватися у складних умовах;
- Можна встановити на штатив або зафіксувати на стіні для забезпечення особистої безпеки;
- Великий розмір РК-екрану, подвійний колір високої яскравості підсвітки;
- Сигналізація при підвищеній температурі тела. Звукове та візуальне попередження;
- Доступні два температурні блоки Цельсія (°C) та Фаренгейта (°F);
- Автоматичне збереження 50 наборів даних вимірювань;
- Автоматичне відключення для економії енергії.



Рис.1.5 – ІЧ термометр
Hi8us HG02

Характеристики:

- Дискретність вимірювання: 0,1 °C;
- Точність вимірювання: $\pm 0,2$ °C;
- Робоча температура повітря: від 16 °C до 35 °C;
- Відносна вологість повітря: $\leq 85\%$;
- Джерело живлення: 3 x AAA батарейки або від USB;
- Пам'ять даних: 50 наборів значень вимірювань;
- Діапазон вимірювання температури тіла людини: від 32,0 до 43 °C;

- Відстань роботи пристрою: від 1 до 10 см;
- Автоматичне відключення: близько 15 сек. без роботи;
- Розмір: 150 x 100 x 62 мм.

Настінний термометр для тіла СТОК [7] (Рис.1.6)

Характеристики

Джерело живлення: працює від батареї

Верхня температура 50 градусів за Цельсієм

Час реакції 500 мілісекунд

Розмір 15 x 8 x 6 см;

Вага 280 грамів.



Рис.1.6 – ІЧ термометр СТОК

1.4.2 Розробки настінних ІЧ термометрів

В статті [8] розроблено ІЧ вимірювач температури на двері, схема якого наведена на Рис.1.7.

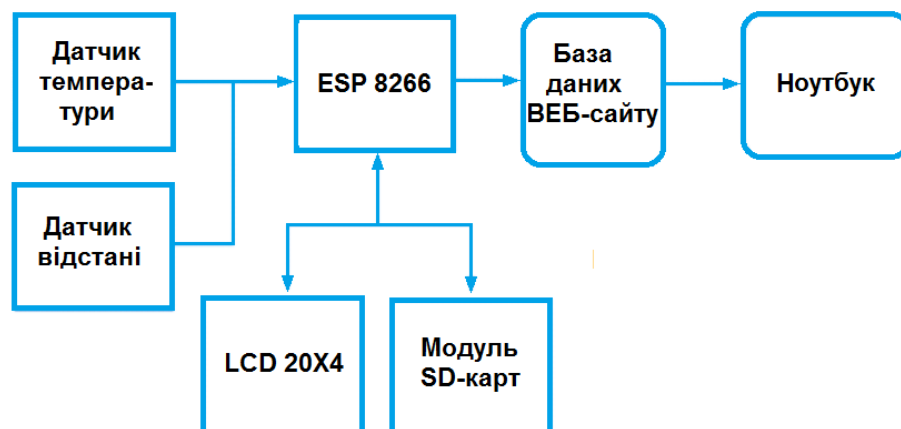


Рис. 1.7 – Блок-схема системи [8]

Вимірювальний прилад [8] використовує два датчики, а саме: ІК датчик температури MLX90614 для безпосереднього безконтактного зчитування

температури тіла людини та датчик відстані E18-D80NK для виявлення присутності людей. Результати зчитування цього датчика виводяться у вигляді цифрових даних за допомогою комунікаційної інтегральної схеми, які потім обробляються мікроконтролером ESP8266, який у програмному розділі генерує значення з плаваючою комою, що обробляються бібліотекою Arduino. Дані з показників температури стають орієнтиром для визначення того, чи можуть відвідувачі входити чи ні, відповідно до стандартів ВООЗ для температур нижче $37,5^{\circ}\text{C}$, потім результати вимірювання будуть збережені на картці microSD та сервері Google Firebase.

Результати експерименту на 20-ти мешканцях показали різницю в 0.2°C між вимірюванням температури розробленим пристроєм з відстані 10 см до чола і електронним термометром, який був прикладений до чола. При цьому обидва термометри показали температуру, що в середньому на 1.5°C нижча на нормальну. Це пов'язане з невиконанням попередньої адаптації до температури навколишнього середовища.

Подібним чином працює також інтелектуальний зонд оцінки температури тіла, розробка якого описана в роботі [9].

В статті [10] наведено систему на двері для дистанційного моніторингу температури тіла людини (ТТЛ) бездротовим способом за допомогою контролера Arduino з різними датчиками та підключенням до Інтернету з відкритим кодом. Запропонована система моніторингу використовує мережу Інтернет через бездротове з'єднання (Wi-Fi) для підключення до онлайн-порталу на смартфоні або комп'ютері (Рис.1.8).

Запропонована в [10] система складається з контролера Arduino, датчиків температури LM-35 (S1), MLX-90614 (S2) та модуля ESP-Wi-Fi. Отриманий результат показав, що дані моніторингу температури в режимі реального часу можуть бути передані справжньому спостерігачеві за допомогою додатків Інтернету речей (IoT).

Наведено результати експерименту, в якому людина змінювала положення тіла (сидячи, проходячи, стоячи) при відкритій та закритій двері в тепле

приміщення. Кожен експеримент повторювався три рази. При цьому датчик S1 просто спостерігав температуру навколишнього середовища ззовні, а ІЧ-датчик S2 використовувався для вимірювання температури тіла при відкритті та закритті дверей в приміщення.

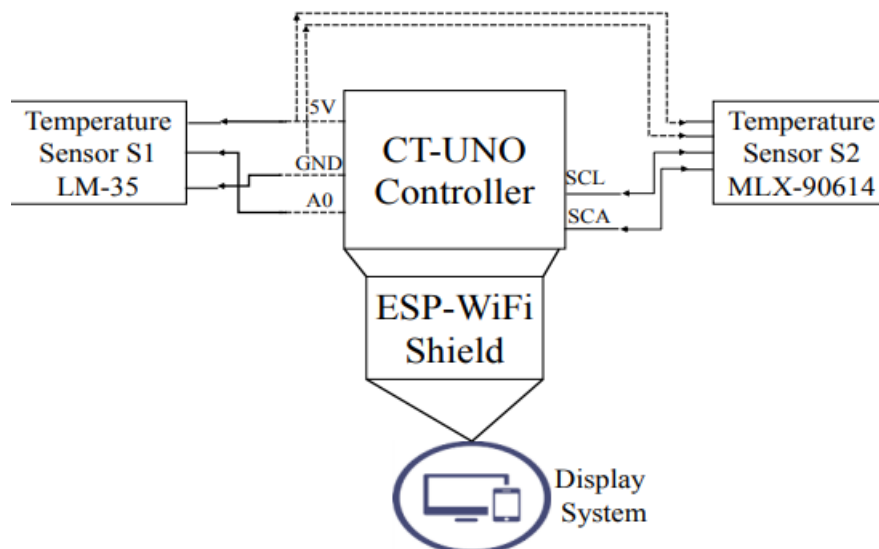


Рис. 1.8. Блок-схема запропонованої системи моніторингу [10]

При проходженні людини через двері датчик S2 показав різницю в температурі тіла при відкритті та закритті дверей $0.2 \dots 1.2^{\circ}\text{C}$, в позиції сидючи перед дверима ця різниця склала $2.0 \dots 2.2^{\circ}\text{C}$, а в позиції стоячи перед дверима – $0.5 \dots 5.7^{\circ}\text{C}$. Середнє значення виміряної температури тіла склало: в положенні сидючи – приблизно 33.4°C , в положенні проходячи – приблизно 33.6°C , а в положенні стоячи – приблизно 37.2°C .

Температура навколишнього середовища, яку контролював датчик S1 була нище показників датчика S2 в середньому на приблизно 15°C .

Різницю у показах датчиків S2 та S1 можна використати для адаптації результатів вимірювання температури тіла ІЧ датчиком.

В роботі [11] розроблено комп'ютеризовану систему виявлення захворівших працівників при вході на підприємство шляхом безконтактного вимірювання температури з чіткою ідентифікацією працівника та зберіганням результатів вимірювання у базі даних на сервері, а за результатами вимірювання температури відкривати або закривати замок, тобто пропускати або не пропускати працівника. Структурна схема системи наведена на Рис.1.9.

Комп'ютеризована система містить безконтактний інфрачервоний вимірювач температури — MLX90614, зчитувач RFID міток RC522 для ідентифікації працівника, LCD дисплей QC1602A для інформування користувача про його взаємодію із системою, цифровий модем – Lora RN2903 для передачі інформації про користувача і температуру в базу даних, релейний модуль RM — для відкривання і закривання дверей. Для опрацювання інформації використано мікроконтролер CPU Arduino Leonardo, який має достатню кількість портів та цифрових інтерфейсів для підключення всієї цієї периферії. Всі ці модулі потребують живлення +12В, +5В, та +3,3В, які забезпечуються імпульсними стабілізаторами постійного струму DC/DC.

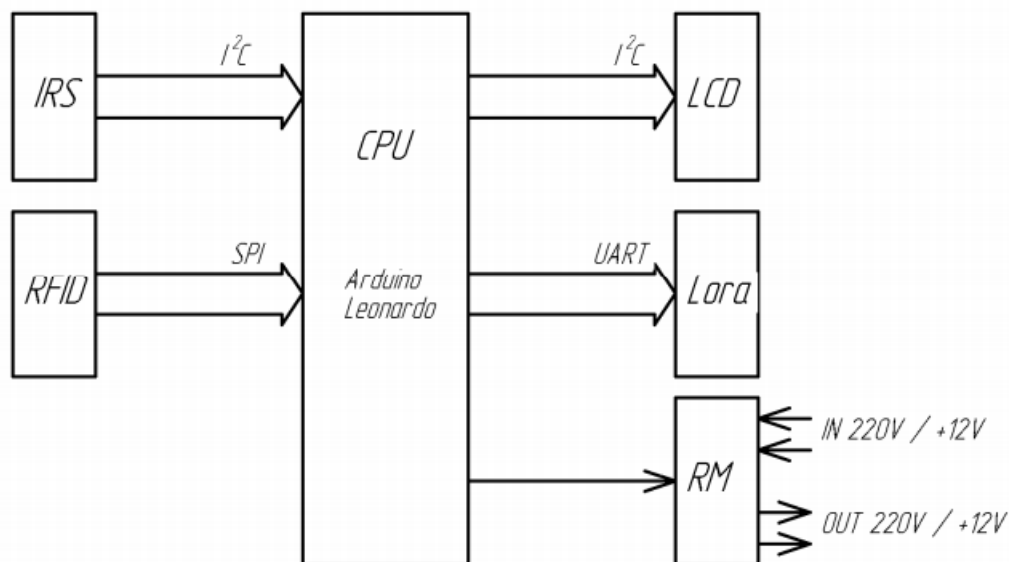


Рис. 1.9 – Структурна схема системи [11]

Після включення живлення комп'ютеризована система закриває двері і ідентифікує або реєструє людину, що хоче зайти. Наступний крок – вимірювання температури, яка перевіряється з пороговим значенням 37⁰С. Якщо температура вище ніж 37⁰С двері не відчиняються. Якщо температура тіла працівника нижче 37⁰С, вхід дозволено, протягом 4 сек. Двері відчиняються. В обох випадках значення температури відображається на дисплеї протягом 4 сек., а дані ідентифікації і температури надсилаються на сервер у базу даних чи у хмарне середовище. Далі, якщо двері відкриті, вони закриваються.

Тестування розробленої комп'ютеризованої системи для безконтактного

контролю температури людей при вході в приміщення підтвердило її працездатність.

В статті [12] представлені результати випробування прототипу автоматичної системи керування дверима з датчиком температури тіла, який розроблено для обмеження прямого фізичного контакту зі звичайними дверними ручками, запобігаючи поширенню COVID-19.

Для реалізації системи використовуються наступні компоненти: датчик температури MLX90614, пасивний ІЧ датчик, мікроконтролер Arduino Uno, РК дисплей 16×2, серводвигуни та світлодіоди. Двері відчиняються, коли поблизу них виявляється будь-який рух людини, а також коли визначається їх температура та наявність маски. Пасивний інфрачервоний датчик спостерігає за рухом і передає сигнал на транзистор, який, у свою чергу, подає сигнал переривання на програмований мікроконтролер ATMEGA. Безконтактний ІЧ датчик температури вимірює температуру тіла людини, і, якщо температура перевищує порогову температуру, вихідний сигнал передається на двигун постійного струму, який використовується для відмикання або замикання дверей, та на Arduino.

На Рис. 1.10 зображено блок-схему, що ілюструє систему автоматичного відкриття та закриття дверей [12].

На схемі Рис.1.10 відображено використання ІЧ-датчика (PIR) та датчика температури MLX90614 (MLX) як аналогових входів у системі. Джерелом живлення є акумулятор, або Arduino, що з'єднаний з пристроєм. Для регулювання струму в системі використовується набір резисторів. РК-дисплей (LED) слугує для відображення вихідного повідомлення про відкриття/закриття, а також для відображення результату вимірювання температури людини. Отримуючи вхідні сигнали від вхідних компонентів, а саме датчика PIR та датчика температури MLX, серводвигуни реагують, виконуючи рухи, що відповідають отриманому вхідному сигналу. Серводвигун є вихідним компонентом.

Датчик PIR діє як детектор руху або теплового випромінювання,

надсилаючи сигнал на Arduino. Щоразу, коли людина або об'єкт наближається до дверей, процес починається з виявлення руху ІЧ-датчиком. Він виявляє об'єкт та випромінювання в діапазоні 12 метрів від датчика.

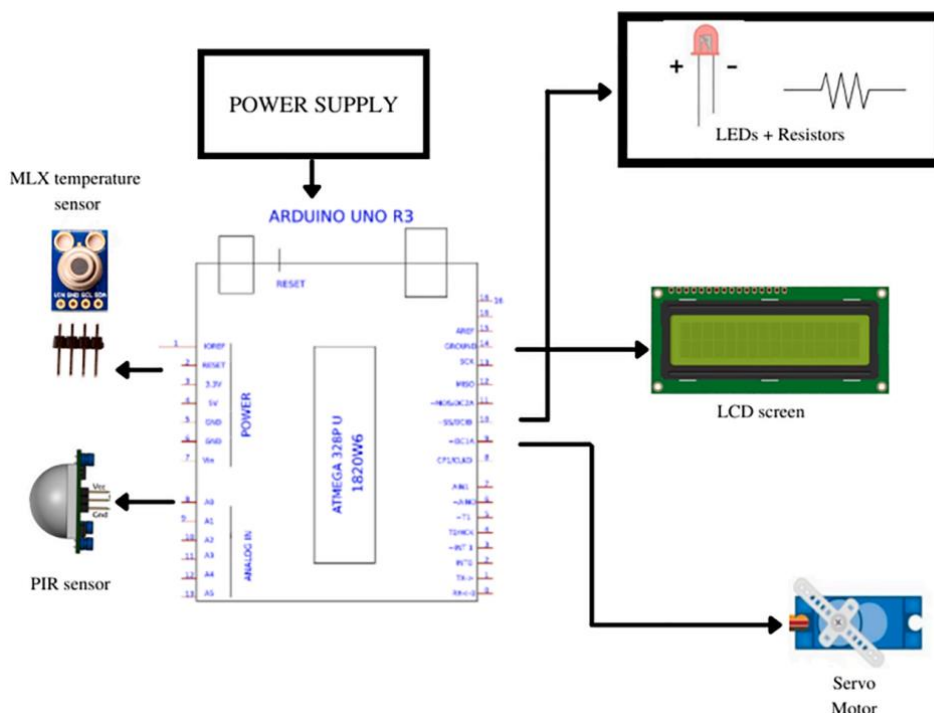


Рис. 1.10. Блок-схема системи автоматичного відкривання дверей [12]

РК-дисплей слугує засобом відображення температури, виміряної датчиком MLX, щоб відвідувач міг визначити свою температуру. Він також відображає повідомлення та інструкції. РК-дисплей підключений і отримує всі сигнали від Arduino.

У системі використовуються два серводвигуни. Призначення серводвигунів полягає у відчиненні дверей після успішного проходження всіх трьох тестових випробувань (виявлення руху, температура в діапазоні та носіння маски).

В роботі [13] розроблено аналогічну до [12] автоматизовану систему моніторингу температури співробітників на прохідній, але замість ІЧ-датчика руху тут використано датчик відстані.

В [14] наведено процес розробки безконтактного вимірювача температури та відстані, який сконструйовано у формі «значка» для вимірювання

фізичної відстані та температури тіла.

Пристрій містить:

1. ATmega 328pAU (мікроконтролер-датчик),
2. TP4056 – BMS (чіп керування батареєю),
3. VL53L0X – SMD (датчик діапазонів часу прольоту та розпізнавання жестів),
4. MLX90632 – SMD QFN (FIRSensor),
5. Літій-полімерного акумулятор – (з номінальною потужністю 3,6 В 600 мАг),
6. Мікроперемикач – 60 дБ (п'єзоелектричний зумер/мікровібраційний двигун),
7. SPDT - MHSS1104 (мікроперемикач),

Пристрій спрощує можливість застосування та надійність роботи ІЧ термометра, поєднуючи новий дизайн з удосконаленими програмами та функціями. Спеціально розроблений компактний пристрій «Значок» (Рис.1.11) структуровано з використанням робочих методів за допомогою електронних пакетів оптимального рівня.



Рис.1.11 – Зовнішній вигляд пристрою [14]

Фізична та соціальна дистанція вимірюється ІЧ лазерним датчиком ToF (англ. *Time of Flight*, час польоту) на відстані 1 м від об'єкта. Використано вимірювального обладнання (датчик температури MLX90632 SMD QFN та датчик VL530LX ToF). Коли дистанція не дотримується або температура людини перевищує пороговий рівень, миготливий світлодіод або вібрація викликають індикацію (попередження про фізичне дистанціювання та про лихоманку, відповідно). Статистичний аналіз та дослідження на основі моделювання показали точність $\pm 0,5^{\circ}\text{F}$ з найнижчою похибкою точності $\pm 0,2^{\circ}\text{F}$.

В [15] розроблено автоматичну безконтактну термометричну систему для роботи в такому середовищі, де систему можна буде використовувати для

виявлення критично хворих людей.

Схема апаратного забезпечення традиційного безконтактного ІЧ-термометра представлена на Рис1.12. У запропонованій роботі основна увага приділяється розробці безконтактного термометра для роботи в ситуації, коли є необхідність обчислювати температуру тіла в місцях масового скупчення людей.

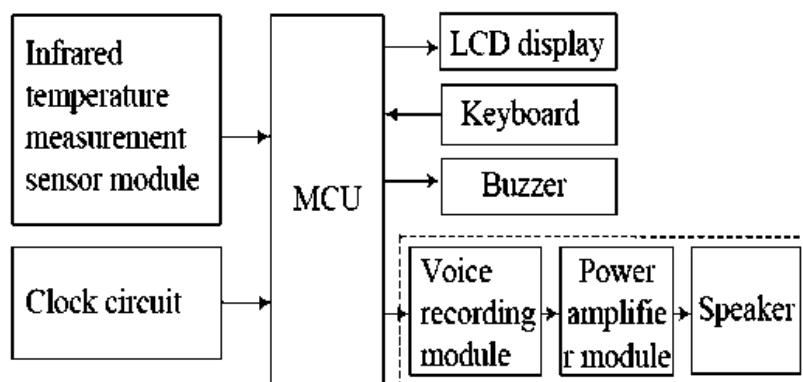


Рис. 1.12 – Схема апаратного забезпечення безконтактного ІЧ-термометра [15]

Система GPS-стеження у співпраці з даними про щільність населення допомагає виявляти та знаходити густонаселені райони. Пристрій автоматизований для запуску функціонування термометричної системи шляхом збору даних про місцезнаходження густонаселеного району за допомогою системи GPS-стеження та ІЧ сигналів безконтактного термометра, які забезпечують точне вимірювання температури тіла. В результаті запропонована система допоможе виявляти зони червоного небезпеки, в яких населення уражене лихоманкою, з метою ізоляції та запобігання входу широкого загалу.

На першому кроці обирається безконтактний режим роботи. На другому кроці отримується інформація з пристрою за допомогою датчиків. Якщо показання, отримані від датчика температури, знаходяться в межах допустимого діапазону, то показання температури обробляються для прийняття рішень у майбутньому. В іншому випадку система перемикається в контактний режим для отримання температури, таким чином завжди гарантуючи, що на дисплеї відображається допустима та точна температура. Перемикання між можливими режимами здійснюється лише на основі формату даних, які отримані від датчика температури, та допустимого діапазону отриманих даних.

В [16] розроблено пристрій для безконтактного автоматизованого вимірювання температури співробітників та занесення отриманої інформації до бази даних. Ідентифікація співробітників відбувається за спеціальним пропуском. На Рис.1.13 наведено структурну схему пристрою.

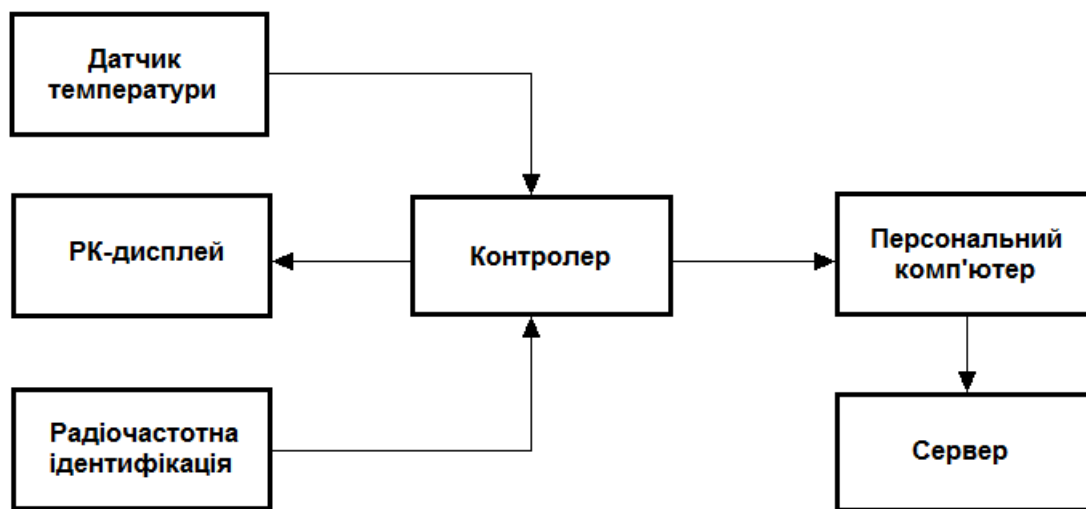


Рис.1.13 – Структурна схема [16]

Дані з датчика температури (GY-906) та RFID-модуля ідентифікації (RC522) передаються в мікроконтролер (Arduino Uno). Після цього на РК-дисплеї (LCD 1602) відобразиться значення температури людини та дозвіл або заборону на прохід. Контролер з'єднано з ПК. В режимі реального часу дані обробляються спеціальним застосунком та зберігаються в БД.

Висновки до Розділу 1

1. Існуючі в масовому продажу стаціонарні ІЧ термометри містять зазвичай і датчик наближення, деякі з них можуть зберігати 30...50 результатів вимірювань з можливістю їх перегляду. Але такі пристрої не передають дані вимірювань на смартфони або ноутбуки.

2. Огляд розробок настінних ІЧ пристроїв або тих, що керують відкриттям дверей, показав застосування в них різноманітних додаткових датчиків: додаткового датчика температури, датчика руху або наближення тощо. Усі такі розробки на даний момент існують в окремих екземплярах тільки у розробника.

3. Основні елементи ІЧ вимірювачів температури: мікроконтролер на

платформі, яка дозволяє підключати додаткові датчики і зовнішні прилади, ІЧ датчик температури, РК-дисплей та джерело живлення. Розробники також намагаються працювати в масштабі реального часу і за допомогою Wi-Fi або в інший спосіб відображати результати вимірювання не тільки на РК-дисплеї, а і на іншому моніторі.

2. ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

2.1 Вибір мікроконтролера для створення електричної схеми

Оскільки однією з ключових задач є передавання даних у реальному часі на веб-інтерфейс, мікроконтролер має мати функцію мережевого інтерфейсу. Нажаль, Arduino Uno R3 (Рис.2.1) [17] не підтримує Wi-Fi без використання додаткових модулів, коли в свою чергу ESP32 MiniKit (Рис.2.2) має більшу функціональність.

Мікроконтролер— це універсальний, компактний і високопродуктивний модуль для розробки вбудованих систем та IoT-проектів. Він базується на чипі компанії Espressif Systems, який поєднує у собі двоядерний 32-бітний процесор, бездротові модулі Wi-Fi і Bluetooth, а також велику кількість портів введення/виведення [18].



Рис.2.1 – Мікроконтролер Arduino Uno R3 [17]



Рис.2.2 – Мікроконтролер ESP32 MiniKit [19]

Якщо використовувати Arduino Uno R3 з додатковими модулями, це буде значно ускладнювати схему, збільшуючи витрати та потенційно знижує надійність [17]. Завдяки платформі ESP32-WROOM-32 мікроконтролер ESP32 MiniKit може не лише зчитувати дані з інфрачервоного сенсора, а ще обробляти, зберігати в реальному часі та передавати їх через Wi-Fi на веб-

сторінку без затримок і без потреби у зовнішніх модулях [18].

Також потрібно зазначити, що попри вищу функціональність, ESP32 MiniKit має нижчу вартість, ніж Arduino Uno R3 що робить цей мікроконтролер ще більш економічним та доцільним варіантом [17].

В Табл.2.1 зведені для порівняння основні характеристики мікроконтролерів ESP32 MiniKit та Arduino Uno R3.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики мікроконтролерів
ESP32 MiniKit та Arduino Uno R3

Характеристика	ESP32 MiniKit	Arduino Uno (ATmega328P)
Wi-Fi	Вбудований Wi-Fi 802.11 b/g/n	Відсутній
Bluetooth	BLE + Classic	Відсутній
Процесор	32-біт, 2 ядра, до 240 МГц	8-біт, 1 ядро, 16 МГц
Оперативна пам'ять (SRAM)	520 КБ	2 КБ
Флеш-пам'ять (для коду)	до 4 МБ	32 КБ
Кількість входів/виходів	до 30 GPIO (залежно від плати)	14 цифрових + 6 аналогових
Напруга логіки	3.3 В	5 В
Передача даних на сервер	Можлива без додаткових модулів	Потрібні додаткові Wi-Fi-модулі
Ціна (станом на 2024 р.)	~130–180 ₴	~280–350 ₴

Як видно з Табл. 2.1, ESP32 MiniKit значно перевершує Arduino Uno за ключовими параметрами, що мають критичне значення для даного проекту.

Оскільки плата ESP32 MiniKit (CP2104) MicroUSB/Type-C є розробкою сторонніх виробників, офіційного дата-шиту саме для цієї плати немає. Однак, її конструкція базується на компонентах ESP32-WROOM-32 та CP2104, для яких доступна офіційна документація, що містить схеми підключення та інші технічні

деталі [18].

2.1.1 ESP32-WROOM-32

Це потужний модуль, що містить двоядерний мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth, вбудовану флеш-пам'ять, антену або вихід під неї, а також набір GPIO-виводів. Цей модуль відповідає за виконання програми, взаємодію з датчиками та іншою периферією [18].

У дата-шиті ESP32-WROOM-32 представлена базова схема підключення модуля, яка включає [18]:

1. Живлення: підключення до джерела 3.3 В.
2. Кнопки EN та IO0: для скидання та входу в режим завантаження.
3. Конденсатори: для стабілізації живлення.
4. Інтерфейси UART, SPI, I2C: для зв'язку з периферійними пристроями.

2.1.2 CP2104

Це мікросхема, яка перетворює сигнал з USB у UART (послідовний інтерфейс). Вона потрібна для того, щоб можна було зручно під'єднати модуль ESP32 до комп'ютера через USB-порт для завантаження прошивки або обміну даними [20].

Оскільки ESP32 не має вбудованого USB-інтерфейсу, для його підключення до ПК потрібен міст між USB і UART. Цю роль виконує CP2104. На платі MiniKit вони з'єднані наступним чином:

1. CP2104 підключений до комп'ютера через порт MicroUSB або Type-C.
2. UART-лінії CP2104 з'єднані з ESP32-WROOM-32:
3. TX → RX (GPIO3)
4. RX → TX (GPIO1)

2.2 Вибір інфрачервоного температурного сенсора

Одним з ключових моментів при розробці пристрою саме для безконтактного вимірювання температури є вибір датчика, який може в короткий період часу визначити температуру людини чи об'єкта без фізичного контакту.

На просторах інтернету було знайдено декілька варіантів, кожен з них має свою перевагу та недоліки залежно від сфери застосування, вимог до точності, енергоспоживання, а також вартості.

Для реалізації автоматизованого пристрою безконтактного вимірювання температури тіла було обрано інфрачервоний сенсор MLX90614 (Рис.2.3), який поєднує високу точність, доступна ціна, зручність поєднувати її з платформою ESP32 з якою я і працюю, а головне що його вільно можна придбати на ринку України [21]. З метою обґрунтування вибору проведено порівняння MLX90614 з також популярним датчиком, що є доступним на ринку України — Panasonic AMG8833 (Рис.2.4) [22].



Рис.2.3 - Інфрачервоний сенсор MLX90614 [21]



Рис.2.4 - Інфрачервоний сенсор AMG8833 [22]

Обраний мною датчик MLX90614 забезпечує точність ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), що є важливим аспектом у медицині. Його особливістю є можливість прямої роботи з мікроконтролерами, які підтримують інтерфейс I2C на рівні 3.3 В, зокрема з ESP32, без потреби в логічних перетворювачах [23].

У порівнянні з ним, AMG8833 хоч і пропонує 64 температурні точки (8×8 матриця), він не призначений для точного визначення температури тіла — точність коливається в межах $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$. Основна його перевага — візуалізація теплового поля (тепловізійна карта) (Рис.2.3) [22], що не буде розглядатись в моїй роботі.



Рис.2.3 – Формування тепловізійної карти датчиком AMG8833

В Табл.2.2 зведені для порівняння основні характеристики інфрачервоних сенсорів MLX90614 та AMG8833.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики інфрачервоних сенсорів MLX90614 та AMG8833

Характеристика	MLX90614	AMG8833
Тип вимірювання	Безконтактне інфрачервоне, точкове	Безконтактне інфрачервоне, матричне (8×8 точок)
Діапазон температур	-70...+380 °C	0...+80 °C
Точність вимірювання	±0.5 °C (в межах 32–42 °C)	±2.5 °C
Роздільна здатність	0.02 °C	0.25 °C
Інтерфейс	I2C, PWM	I2C
Напруга живлення	3.3–5 В	3.3 В
Сумісність з ESP32	Повна, без перетворювачів рівнів	Повна, без перетворювачів рівнів
Час відгуку	~0.1 с	~0.5 с
Вивід результату	Температура однієї точки	64 температурних точки (тепловізійне зображення)
Середня ціна в Україні	338–490 ₴	1331–3843 ₴
Основне призначення	Медичні вимірювання, контроль температури об'єктів	Виявлення присутності, тепловізійна зйомка поверхонь

Аналізуючи данні з Табл.2.2, зупиняємо свій вибір на датчику MLX90614, оскільки він забезпечує високу точність та нижчу вартість. А датчик AMG8833 більше підходить для виявлення присутності та тепловізійній зйомці, але його точності буде замало для вимірювання температури тіла.

MLX90614 — це цифровий інфрачервоний термометр, який вимірює температуру об'єктів безконтактно. Він використовує інфрачервоне випромінювання і вбудований термоперетворювач з модулем обробки сигналу, що дозволяє точно вимірювати температуру поверхні об'єктів. Також хотів би зазначити, що цей модуль має два датчика, внутрішній вимірює температуру самого модуля, а зовнішній визначає температуру об'єкта через ІЧ-випромінювання [23].

Схема підключення MLX90614 [23]:

1. VDD - живлення (наприклад, 3.3 В або 5 В)
2. GND - земля
3. SCL та SDA - підключаються до I²C-шини мікроконтролера
4. Обов'язково використовуються підтягуючі резистори (4.7 кОм) на лініях SDA і SCL до VDD

Типова схема підключення MLX90614 зображена на Рис.2.4

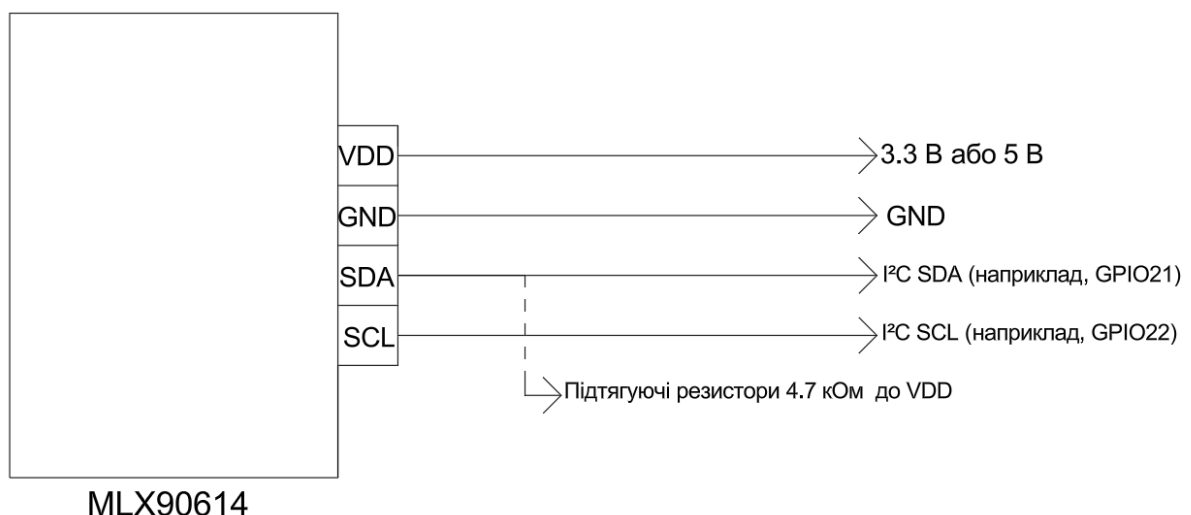


Рис.2.4 – Схема підключення датчика MLX90614

2.3. Вибір і підключення OLED-дисплея

Для втілення функції відображення температури тіла на екрані в режимі реального часу було розглянуто декілька видів дисплеїв, що можуть взаємодіяти з ESP32 через інтерфейс I²C або SPI. Основними критеріями вибору стали: споживання енергії, розміри, контрастність, простота під'єднання, вартість, а також зручність використання у портативному приладі.

В проєкті розглядав варіанти популярних дисплейних модулів, які можна використовувати з мікроконтролером ESP32:

1. OLED-дисплей 0.96" SSD1306 (I²C) (Рис.2.5)
2. LCD-дисплей 1602 з I²C-адаптером (HD44780) (Рис.2.6)
3. Кольоровий TFT-дисплей 1.8" SPI (ST7735) (Рис.2.7)



Рис.2.5 – OLED-дисплей
[24]



Рис.2.6 – LCD-дисплей
[25]

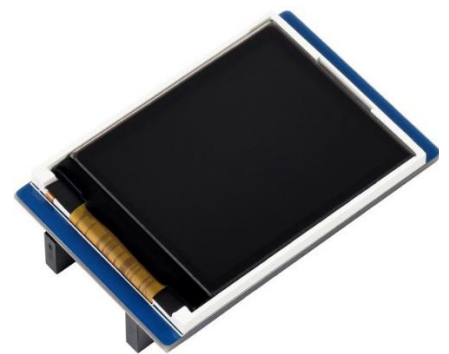


Рис.2.7 – Кольоровий
TFT-дисплей [26]

Короткі характеристики та порівняння дисплеїв наведено в Табл. 2.3.

На основі здійсненого порівняльного аналізу було ухвалено рішення застосувати в цьому проєкті OLED-дисплей 0.96" з драйвером SSD1306 та інтерфейсом I²C. Такий вибір зумовлений сукупністю технічних і функціональних переваг, які відповідають вимогам до портативного пристрою для моніторингу температури тіла.

Насамперед, дисплей цілком сумісний з обраною апаратною платформою ESP32, оскільки функціонує на логічному рівні 3.3 В і не вимагає додаткових

логічних перетворювачів. Це значно полегшує схему з'єднань і зменшує потенційні джерела помилок при взаємодії компонентів [27].

Таблиця 2.3 – Характеристики та порівняння дисплеїв

Характеристика	OLED 0.96” (SSD1306)	LCD 1602 (HD44780 + I²C)	TFT 1.8” (ST7735)
Тип дисплея	OLED, монохромний	Рідкокристалічний (символьний)	TFT, кольоровий
Інтерфейс	I ² C	I ² C	SPI
Роздільна здатність	128×64 пікселів	16×2 символів	128×160 пікселів
Розміри дисплея	0.96”	2.0”	1.8”
Напруга живлення	3.3–5 В	5 В	3.3 В
Логічний рівень	3.3 В	5 В	3.3 В
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Високе
Сумісність з ESP32	Повна	Часткова (через перетворювач)	Повна
Ціна в Україні (2024 р.)	~100 ₴	~150 ₴	~250–300 ₴

Важливою перевагою OLED-дисплея є низьке споживання енергії, що має ключове значення для автономних пристроїв із живленням від акумулятора або мобільного джерела. Крім того, компактні габарити модуля дають змогу легко інтегрувати його в невеличкий корпус без погіршення ергономіки. Дисплей забезпечує високу контрастність і чіткість зображення, що дозволяє комфортно зчитувати інформацію навіть при денному освітленні [28].

На відміну від інших варіантів, таких як LCD 1602, OLED-дисплей не обмежений лише символьним режимом, а також не потребує роботи з логікою 5 В. Щодо кольорових TFT-дисплеїв, незважаючи на розширені можливості візуалізації, вони мають вищу вартість, істотно більше енергоспоживання, складнішу схему підключення та потребують більшої кількості вільних виводів мікроконтролера. [з пункту 2.1 [25]].

Отже, OLED-дисплей є найбільш збалансованим рішенням, що

задовольняє всі технічні вимоги до пристрою: енергоефективність, простота інтеграції, компактність, функціональність і зручність у користуванні.

OLED-модуль SSD1306 підключається до ESP32 через I²C-шину. Типове підключення має такий вигляд:

GND – GND (ESP32)

VCC – 3.3 В (або 5 В, якщо модуль підтримує)

SCL - GPIO22 (шина тактування)

SDA – GPIO21 (шина даних)

У багатьох версіях модулів OLED вже вбудовані підтягуючі резистори (10 кОм) до ліній SDA і SCL. Якщо ж їх немає, необхідно самостійно додати по резистору до живлення (VCC), щоб забезпечити стабільну роботу I²C-шини.

На Рис.2.8 показано схему з'єднання OLED-дисплея:

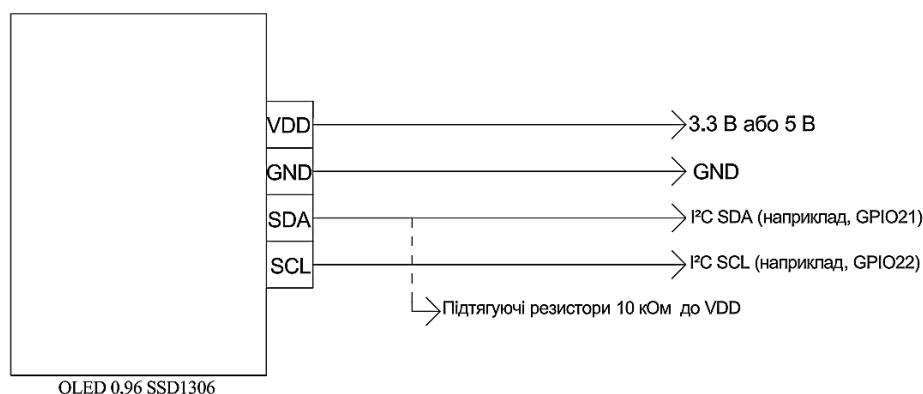


Рис.2.8 – Схема підключення OLED-дисплея

Принцип роботи дисплея SSD1306 заключається в тому, що контролер SSD1306 обробляє графічні дані та відображає їх на OLED-матриці. Він формує зображення шляхом активації пікселів (підсвічування не потрібне), що надає OLED-дисплеям вищий контраст і нижче енергоспоживання порівняно з РК-дисплеями.

SSD1306 підтримує режим кадрового буфера: мікроконтролер передає зображення у вигляді масиву байтів, де кожен біт відповідає певному пікселю. Наприклад, температура може відображатися у вигляді великого цифрового значення (наприклад, «36,7°C»), що супроводжується часом або піктограмою,

що вказує на режим роботи.

Враховуючи всі технічні, економічні та ергономічні фактори, OLED-дисплей 0,96 "I²C на основі SSD1306 є найкращим рішенням для впровадження локальної продукції температури в розробленому автоматизованому пристрої. Він забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, енергоефективністю, розмірами та вартістю.

2.4 Електрична схема

Електрична схема автоматизованого пристрою для безконтактного моніторингу температури тіла базується на мікроконтролері ESP32 Minikit з інтегрованим USB-інтерфейсом CP2104 [19]. Ця схема включає OLED-дисплей з контролером SSD1306 [26], інфрачервоним датчиком температури MLX90614 (GY-906) [21] та кнопкою для запуску вимірювання. Усі компоненти інтегровані в систему, яка забезпечує зчитування, обробку, вихід та передачу даних температури.

Основою функціональності пристрою є I2C-шина, що дозволяє зручно організовувати з'єднання між мікроконтролером та периферійними модулями. OLED-дисплей та датчик MLX90614 підтримують цей протокол, що дозволяє підключити обидва пристрої на одній лінії SDA (серійна лінія даних) та SCL (серійна лінія годин) [29]. На схемі ці лінії підключені до цифрового виходу ESP32. Лінія SDA підключена до GPIO21, а лінія SCL підключена до GPIO22. Це стандартне тонке розведення I2C до ESP32, що дозволяє ефективно використовувати апаратну підтримку протоколу [18].

OLED-дисплей SSD1306 використовується для локального виведення результатів вимірювання температури. Цей дисплей характеризується роздільною здатністю 128×64 пікселів, працює по протоколу I2C і потребує живлення 3.3–5 В залежно від модифікації [27]. У даній схемі дисплей живиться від лінії 5 В мікроконтролера, що забезпечує стабільну роботу та яскравість відображення.

Модуль MLX90614 (GY-906) виконує роль основного вимірювального

елементу. Це інфрачервоний термометр, який дозволяє читати температуру предмета без контакту за допомогою теплового випромінювання. Він оснащений інтегрованим аналого-цифровим перетворювачем та внутрішнім контролером, який може передавати цифрові значення температури через інтерфейс I²C [21]. Чіп MLX90614 чутливий до перенапруг і не допускає живлення 5 В [23].

Для початку вимірювання пристрій використовує механічну кнопку, пов'язану з одним із цифрових входів мікроконтролера (наприклад, GPIO33). Кнопка працює за принципом при натисканні вхід мікроконтролера замикається на землю. Вбудоване програмне забезпечення ESP32 записує подій та активує послідовність зчитування температури MLX90614.

Сигнальна частина схеми передбачає внутрішню обробку даних ESP32, їх виведення на OLED-дисплей та одночасну передачу на веб-інтерфейс через бездротове Wi-Fi-з'єднання. Це дозволяє реалізувати віддалений моніторинг температури в режимі реального часу, а також забезпечити журналювання даних на стороні користувача.

Електрична схема з'єднань компонентів показана на Рис. 2.9. Вона демонструє логіку підключення живлення, цифрових ліній і управління через кнопку.

Завдяки простоті й надійності схеми, пристрій демонструє стабільну роботу як у ручному режимі, так і при передачі даних через Wi-Fi, що робить його придатним для використання в системах первинного медичного контролю.

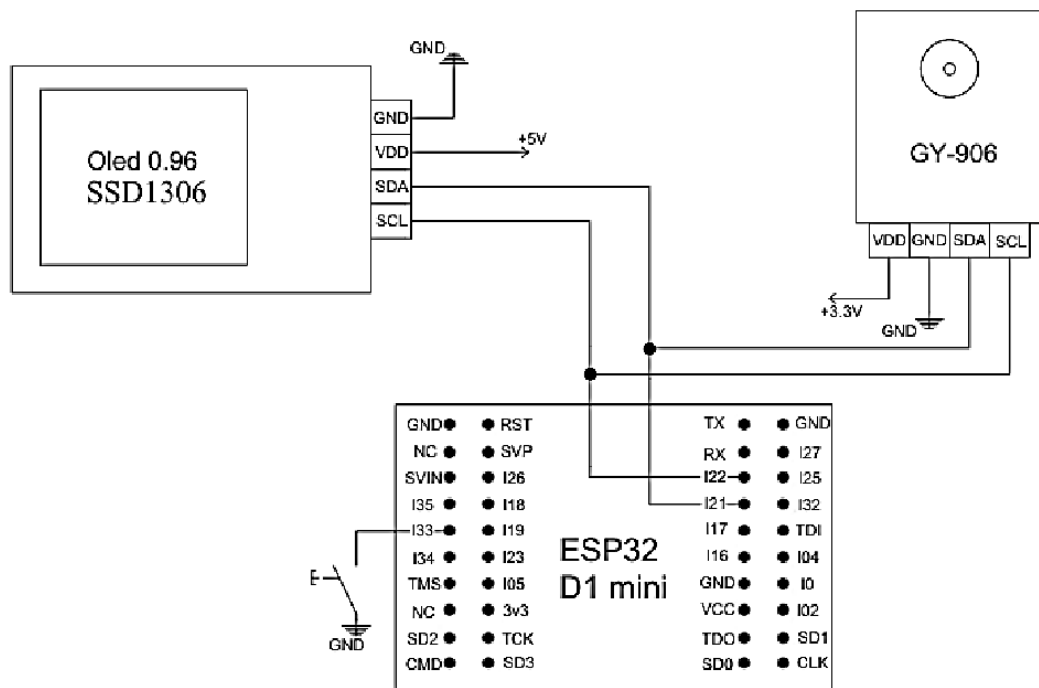


Рис.2.9 – Електрична схема з'єднання компонентів

Висновки до Розділу 2

Побудовано структурну та електричну схему пристрою

Як керувальний обрано мікроконтролер ESP32 Minikit. В якості датчика температури обрано MLX90614.

Інтегрований модуль Wi-Fi, достатня обчислювальна потужність та дотримання інтерфейсу I²C забезпечили ефективну взаємодію з периферійними компонентами.

Для локального відображення результатів був обраний OLED -дисплей з контролером SSD1306, відомим своїм високим контрастом, компактністю та низьким споживанням електроенергії.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ

3.1 Структурна схема

Для кращого розуміння взаємодії основних апаратних компонентів у системі розроблена структурна схема автоматизованого пристрою для вимірювання контактної температури тіла (Рис.3.1). Центральною частиною конструкції виступає мікроконтролер ESP32 MiniKit, який координує роботу всіх елементів.

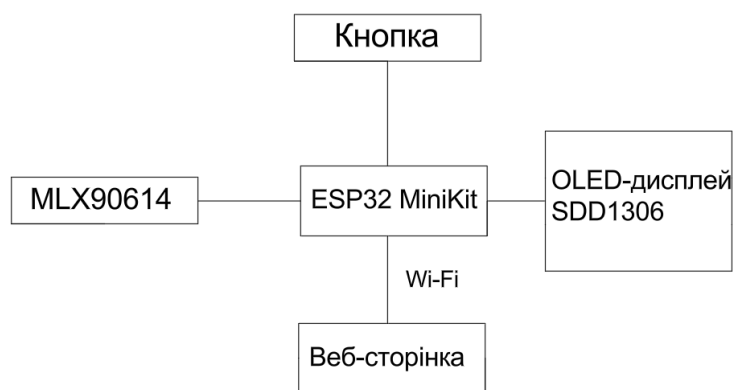


Рис. 3.1 – Структурна схема пристрою

До ESP32 підключено наступні модулі:

- Інфрачервоний температурний сенсор MLX90614 здійснює основне завдання пристрою — вимірювання температури без прямого контакту. Завдяки цифровому інтерфейсу I²C, датчик передає виміряні значення мікроконтролеру.
- Кнопка виконує роль ініціатора вимірювання. При натисканні формується сигнал, який надходить на один із цифрових входів ESP32, після чого розпочинається процес зчитування температури.
- OLED-дисплей SSD1306 відображає отримане значення температури, а також, за потреби, поточний час або інші параметри. Він підключається через ту саму I²C-шину, що й температурний датчик.
- Веб-інтерфейс реалізується як локальний веб-сервер, запущений на ESP32. Завдяки вбудованому Wi-Fi-модулю, пристрій здатен передавати результати

вимірювань у браузер будь-якого пристрою, підключеного до тієї ж мережі.

Передача даних та візуалізація роботи реалізуються у двох форматах: локальний (через дисплей) та віддалені (через веб-сайт). Використовуючи такий підхід, ви можете зручно використовувати свій пристрій у різних сценаріях, особливо в будинках та хворобах, де важлива оцінка температури.

На схемі відображено логічні зв'язки між компонентами. Усі елементи об'єднані навколо мікроконтролера ESP32, що забезпечує стабільну комунікацію, обробку та передачу даних. Завдяки використанню I²C-протоколу, кількість необхідних ліній зв'язку мінімальна, що спрощує монтаж і знижує ризики помилок при підключенні.

3.2 Практична реалізація апаратної частини системи вимірювання температури

Для втілення системи безконтактного контролю температури тіла було зібрано апаратну частину, основою якої є мікроконтролер ESP32 MiniKit. Цей модуль обрано завдяки його компактним габаритам, наявності Wi-Fi модуля, достатній кількості входів/виходів та підтримці I²C-шини, що помітно полегшує підключення зовнішніх пристроїв. Мікроконтролер має роз'єм USB Type-C, що спрощує процес прошивки та живлення пристрою.

До ESP32 було приєднано модуль безконтактного інфрачервоного термометра MLX90614 (GY-906), котрий здатний вимірювати температуру на базі теплового випромінювання об'єкта. Він підтримує протокол I²C, тому його було легко інтегрувати в систему. Ще до мікроконтролера під'єднано OLED-дисплей розміром 0.96 дюйма на контролері SSD1306 з роздільною здатністю 128x64 пікселів. Цей екран використовується для виведення результатів вимірювання температури в реальному часі.

Живлення дисплея відбувається від лінії 5В, у той час як модуль термометра приєднано до 3.3В, відповідно до його технічних потреб. Обидва прилади приєднані до спільної I²C-шини, де сигнал SDA передається на пін IO21, а SCL – на IO22 мікроконтролера. Крім цього, в систему додано кнопку

Рис.3.2 [30], яка виконує роль тригера: при натисканні активується процес зчитування температури. Кнопка підключена до одного з цифрових входів ESP32 і працює з використанням внутрішнього підтягуючого резистора.

Вся електронна частина змонтована без застосування корпусу, що дозволяє легко випробовувати окремі модулі та змінювати з'єднання за потреби Рис.3.3. Компоненти закріплені на поверхні, а з'єднання здійснені гнучкими дротами. Для забезпечення надійного контакту та захисту від короткого замикання застосовувалося термоклеєве фіксування деяких деталей.



Рис.3.2 - Кнопка
[30]

Зібрана апаратна складова цілком відповідає потребам проєкту. Після натискання клавіші система активує сенсор MLX90614, здобуває значення температури, виводить його на OLED-екран і водночас передає ці дані по Wi-Fi на веб-інтерфейс. Після увімкнення пристрій автоматично підключається до локальної Wi-Fi мережі. Користувач може зі свого смартфона або комп'ютера перейти за IP-адресою <http://192.168.88.25>, де відкривається веб-інтерфейс системи Рис.3.4. На сторінці відображається поточне значення температури, отримане від датчика, а також час проведення вимірювання Рис.3.5. Інтерфейс є простим і зрозумілим для користувача, що робить систему зручною для використання в домашніх або громадських умовах. Такий підхід забезпечує зручність у користуванні та дає змогу спостерігати результати віддалено з будь-якого пристрою, під'єданого до тієї ж мережі.

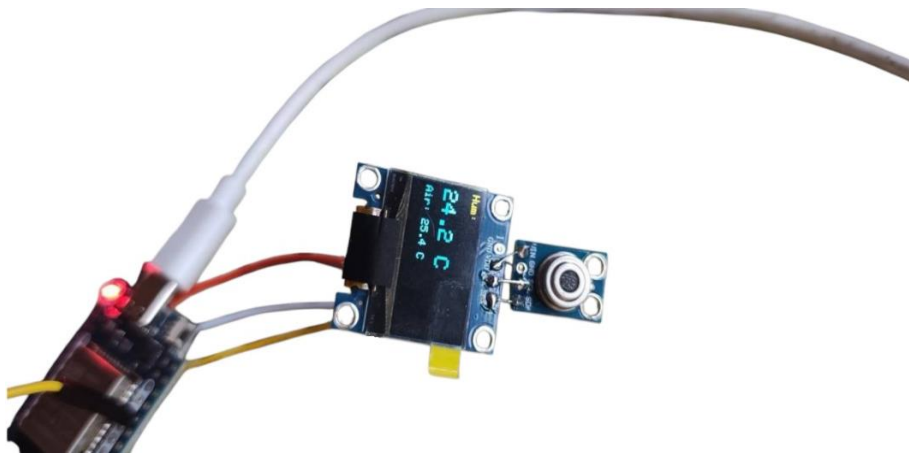


Рис.3.3 – Змонтована електронна частина без корпусу

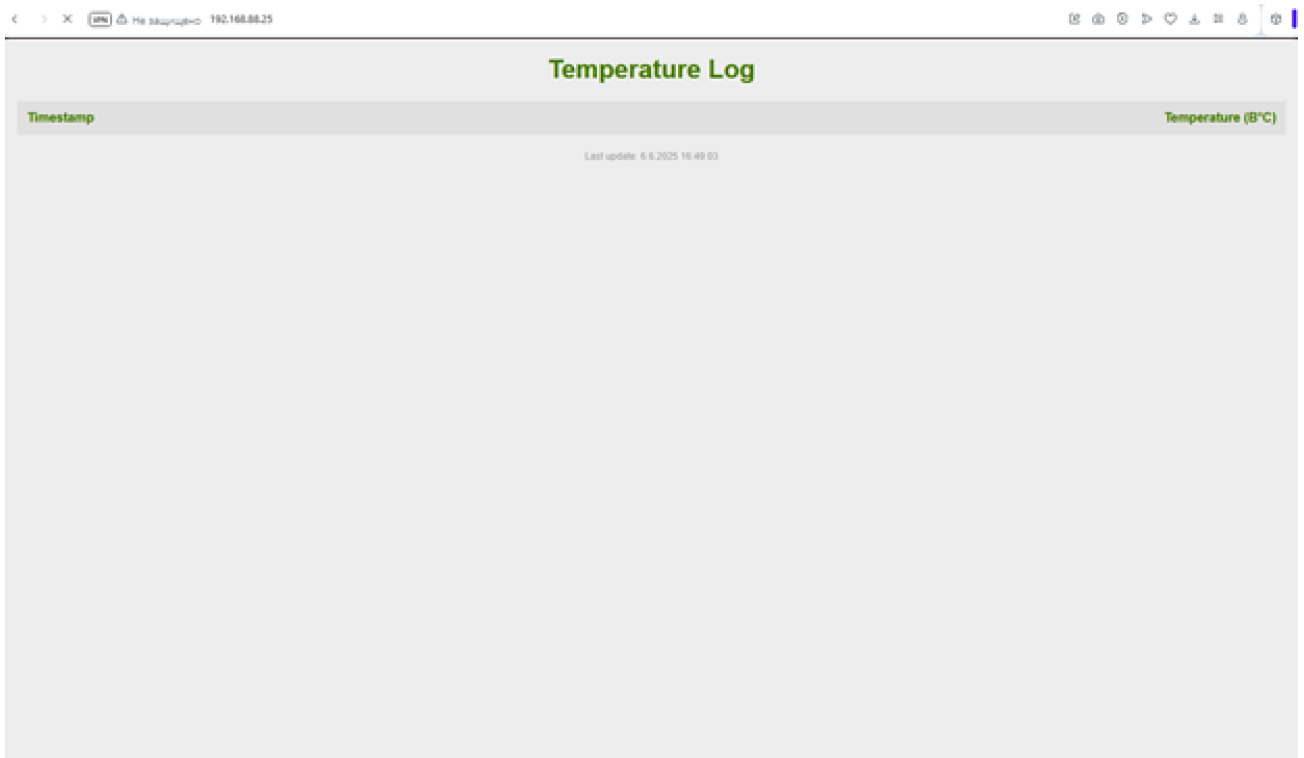


Рис.3.4 – Відкриття веб-інтерфейсу

Temperature Log	
Timestamp	Temperature (B°C)
6.6.2025 16:53:04	34.8
6.6.2025 16:52:49	25.9
6.6.2025 16:52:34	29.6
6.6.2025 16:51:44	35.1

Рис.3.5 - Відображення поточного значення температури, що отримане від датчика (справа), та дати і часу проведення вимірювання

3.3 Аналіз коду

Написання коду для програми є важливим аспектом для моєї роботи. Код

було написано на мові C++ у середовищі Arduino IDE з використанням сторонніх бібліотек для роботи з апаратними модулями: інфрачервоним термометром MLX90614, OLED-дисплеєм, Wi-Fi-модулем ESP32, веб-сервером і модулем синхронізації часу.

1. Спершу додаєм важливі для роботи бібліотеки:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>
```

- **Wire.h** використовується для I2C-зв'язку з датчиком температури та дисплеєм.
- **Adafruit_MLX90614.h** — для зчитування температури з датчика MLX90614.
- **Adafruit_GFX.h** і **Adafruit_SSD1306.h** — для керування OLED-дисплеєм.
- **WiFi.h**, **WebServer.h**, **NTPClient.h**, **WiFiUdp.h** — для створення Wi-Fi-з'єднання, запуску веб-серверу та отримання поточного часу через Інтернет.

2. Ініціалізація об'єктів та констант

```
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
```

Тут створюються об'єкти для роботи з датчиком та дисплеєм. Значення ширини і висоти дисплея задаються як константи. Об'єкт `display` ініціалізується з відповідними параметрами для використання OLED-екрану з бібліотекою `SSD1306`.

3. Налаштування параметрів вимірювання і Wi-Fi

```
const int BUTTON_PIN = 33;  
const unsigned long MEASUREMENT_DURATION = 6000;  
const unsigned long RESULT_DISPLAY_DURATION = 8000;  
  
const char* ssid = "MikroTik-D543D2";  
const char* password = "15101976";
```

Оголошуються константи: пін кнопки, яка активує вимірювання, тривалість самого вимірювання (6 секунд) і тривалість показу результату (8 секунд). Також вказуються назва та пароль Wi-Fi-мережі, до якої підключатиметься ESP32.

4. Створення веб-сервера і клієнта часу

```
WebServer server(80);  
WiFiUDP ntpUDP;  
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org");
```

Оголошуються об'єкти:

- **server** — веб-сервер, який буде працювати на порту 80.
- **ntpUDP** та **timeClient** — для отримання поточного часу з NTP-серверів через UDP-з'єднання.

5. Зміна стану пристрою

```
enum State { IDLE, MEASURING, SHOW_RESULT };  
State currentState = IDLE;  
unsigned long stateStartTime;  
float lastObjectTemp = 0.0;
```

Використовується перелічення (enum) для керування логікою пристрою. Стан IDLE відповідає очікуванню, MEASURING — активному зчитуванню температури, SHOW_RESULT — показу результату на дисплеї. Змінна stateStartTime фіксує час початку кожного стану для відліку затримок.

6. Структура журналу вимірювань

```

const int MAX_LOG_ENTRIES = 20;
struct LogEntry {
    String timestamp;
    float temperature;
};
LogEntry temperatureLog[MAX_LOG_ENTRIES];
int logIndex = 0;

```

Оголошується структура LogEntry для зберігання пари "час – температура". Масив temperatureLog містить останні 20 записів, які відображаються на веб-сторінці. logIndex вказує на поточну позицію для запису нового значення.

7. Функція

```

void setup() {
    ...
}

```

У функції setup() виконується ініціалізація всіх компонентів:

- Запуск серійного порту для дебагу;
- Налаштування піну кнопки як входу;
- Перевірка підключення датчика MLX90614 і OLED-дисплея;
- Підключення до Wi-Fi мережі;
- Запуск NTP-клієнта;
- Запуск веб-сервера;
- Виведення статусу на OLED-дисплей.

8. Головний цикл loop()

```

void loop() {
    ...
}

```

Цикл loop() є основним керуючим механізмом:

- Постійно обслуговує веб-сервер;

- Оновлює поточний час;
- Читає температуру навколишнього середовища;
- Реагує на натискання кнопки та змінює стан системи;
- Відображає відповідні дані на дисплеї залежно від стану: очікування, процес вимірювання або результат.

9. Функція *logTemperature()*

```
void logTemperature(float temp) {  
    ...  
}
```

Ця функція додає новий запис у журнал. Отримується поточна дата і час, після чого запис з температурою зберігається у масиві `temperatureLog`.

10. Функція *getFormattedTime()*

```
String getFormattedTime() {  
    ...  
}
```

Формує рядок із поточною датою та часом у форматі день.місяць.рік год:хв:сек. Час береться з NTP-серверу.

11. Функція *handleLog()*

```
void handleLog() {  
    ...  
}
```

Це обробник веб-сторінки. Він створює HTML-документ, в якому у вигляді таблиці відображається журнал останніх 20 вимірювань з мітками часу. Сторінка має темний стиль оформлення, оптимізований для мобільних пристроїв.

12. Відображення на дисплей

```
void displayIdleScreen(float ambientTemp) { ... }  
void displayMeasuringScreen(float ambientTemp) { ... }  
void displayResultScreen(float ambientTemp, float objectTemp) { ... }
```

Ці три функції відповідають за виведення інформації на дисплей залежно

від поточного стану системи:

- `displayIdleScreen()` — показує температуру повітря та інструкцію натиснути кнопку.
- `displayMeasuringScreen()` — повідомляє про вимірювання, показує час, що залишився.
- `displayResultScreen()` — відображає результат вимірювання та температуру навколишнього середовища.

Розглянутий код реалізує повноцінну систему для безконтактного вимірювання температури тіла. Програма підтримує три основні стани роботи, зберігає результати вимірювань із часовими мітками та виводить їх у зручному вигляді як на OLED-дисплей, так і на веб-сторінку, також для зручності розуміння коду була побудована блок-схема самого алгоритму Рис.3.6. Архітектура коду є логічно структурованою, що спрощує модифікацію, налагодження та розширення функціональності пристрою.

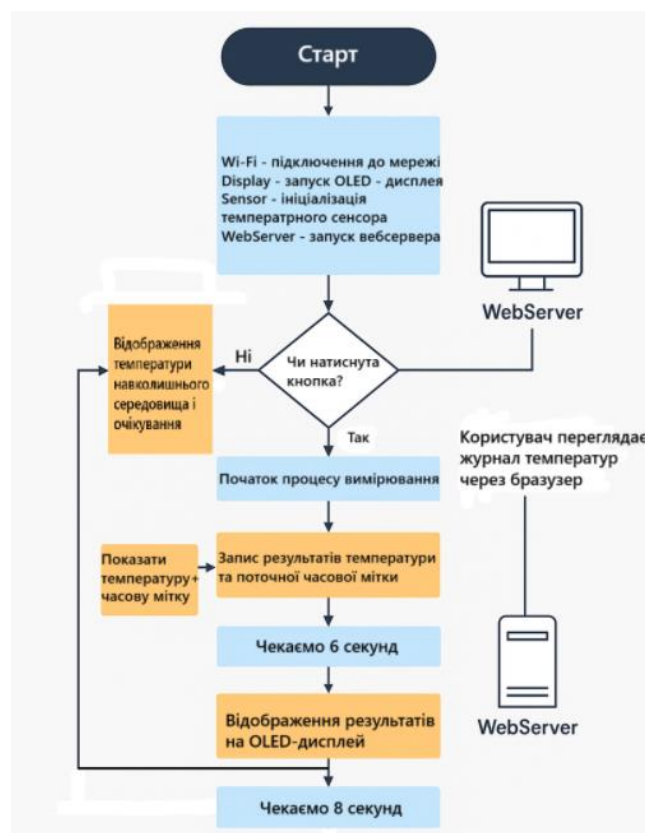


Рис.3.6 – Блок-схема алгоритму

3.4 Експеримент з різними термометрами

Для аналізу порівняння результатів візьмемо три різних термометра.

1. **Ртутний термометр** (рис.3.7)
2. **Електронний PARAMED** (рис.3.8)
3. **Безконтактний (MLX90614)** (рис.3.9)

3.4.1. Ртутний термометр

Ртутний термометр (Рис.3.7) продемонстрував найвищий результат — 36.5 °С, що вважається максимально наближеним до реальної температури тіла. Він і виступає умовним еталоном у цьому експерименті. Через тривалий час вимірювання (5–10 хвилин) він забезпечує глибше прогрівання і точніше зчитування.



Рис.3.7 – Ртутний термометр



Рис.3.8 – Електронний термометр PARAMED

3.4.2. Електронний термометр PARAMED

Електронний термометр (Рис.3.6) показав температуру 36.0 °С, тобто на 0.5°С нижче від ртутного.

Це може бути пов'язано з коротким часом вимірювання (до 1 хв), поверхневим контактом зі шкірою, відсутністю достатнього прогріву датчика.

3.4.3. Автоматизований безконтактний термометр (ESP32 + MLX90614)

Розроблений в дипломній роботі безконтактний термометр (Рис.3.9) показав найнижчий результат — 35.5 °С, що на 1 °С нижче від ртутного. Це може відбуватись через вплив навколишнього середовища (кімнатне повітря охолоджує шкіру). Відсутність компенсації зовнішньої температури означає, що пристрій не враховує температуру навколишнього середовища при вимірюванні температури тіла, а це може призводити до похибок у результатах.



Рис.3.9 – Розроблений термометр

У реальних умовах інфрачервоні датчики, як-от MLX90614, можуть показувати занижене або завищене значення температури тіла. Це зумовлено впливом навколишнього середовища, відстані до об'єкта, кута вимірювання та інших факторів.

3.4.4. Врахування температури повітря

Щоб отримати більш точне значення температури тіла, можна застосувати формулу калібрування, яка враховує температуру повітря, в моєму випадку на дисплей виводиться також результат температури повітря, але судячи з спостережень цей результат має велику похибку через те, що сам датчик перебуває в термоклею.

У коді реалізовано базове вимірювання температури за допомогою інфрачервоного датчика MLX90614. Проте, для отримання більш точних значень температури тіла доцільно враховувати вплив температури навколишнього

середовища за допомогою саме додаткового датчика виміру навколишньої температури. Це можливо завдяки додаванню калібрування, яке враховує різницю між фактичною температурою тіла та умовами вимірювання.

Реалізація калібрування дає змогу:

- компенсувати вплив температури повітря;
- враховувати індивідуальні особливості датчика;
- точніше відображати температуру тіла, наближену до медичних вимірів (наприклад, 36.5 °C).

Для цього можна додати коефіцієнт корекції (калібрувальний коефіцієнт), який буде автоматично застосовуватися до результату вимірювання. Така система дозволяє покращити точність без фізичного втручання в датчик і може бути налаштована через веб-інтерфейс або вручну в коді.

3.4.5. Порівняння вимірювань різними термометрами

Порівняння отриманих вимірювань температури різними термометрами подане на діаграмі на Рис.3.10.

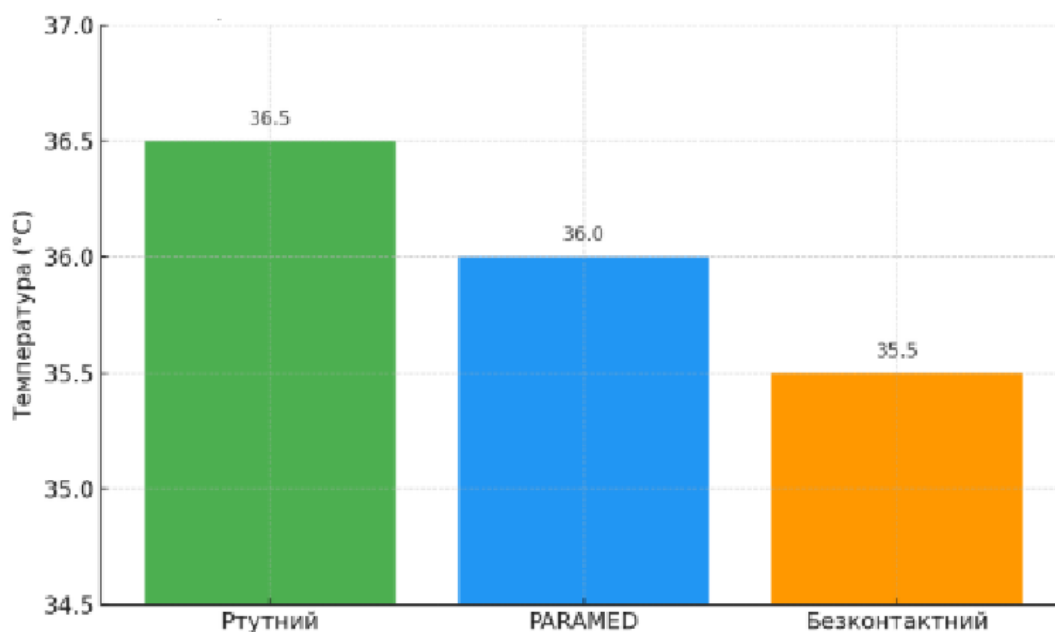


Рис.3.10 – Порівняльна діаграма

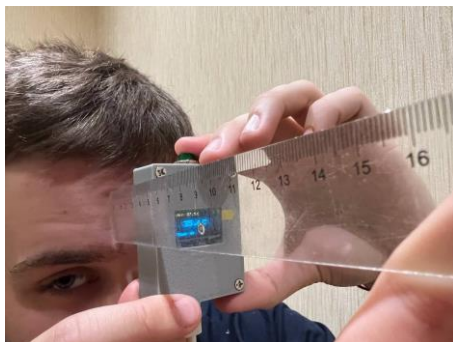
Порівняння термометрів за певними параметрами наведені в Табл. 3.1.

3.5. Експеримент: залежність від відстані до об'єкта

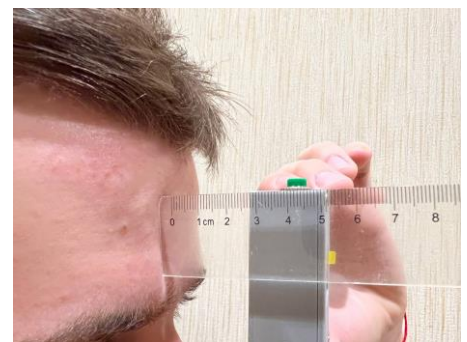
Під час експерименту було перевірено, як змінюється показник температури безконтактного термометра (на базі ESP32) залежно від відстані до об'єкта. Вимірювання проводилися при різних відстанях від 3 до 10 см Рис.3.11. Результати показали, що зі збільшенням відстані значення зафіксованої температури зменшується (Рис. 3.12). Це свідчить про вплив відстані на точність вимірювання в безконтактних пристроях.

Таблиця 3.1 – Параметри використаних термометрів

Характеристика	Ртутний термометр	Електронний PARAMED	Безконтактний (ESP32)
Вартість (грн)	80	250	500
Час вимірювання (сек)	300	60	5
Точність ($\pm^{\circ}\text{C}$)	0.1	0.2	0.5
Тип (Контактність)	Контактний	Контактний	Безконтактний
Живлення	Не потребує	Батарейка	USB / Акумулятор
Переваги	Висока точність, не потребує живлення	Швидкість, безпечність	Миттєвий результат, безконтактність, Wi-Fi, передача на веб-сторінку
Недоліки	Крихкість, довгий час вимірювання	Похибка, потребує батарей	Потребує калібрування, залежить від умов вимірювання



а) на дисплеї видно температуру 35.6 °C



б) відстань 3 см

Рис.3.11 – Вимірювання при різних відстанях

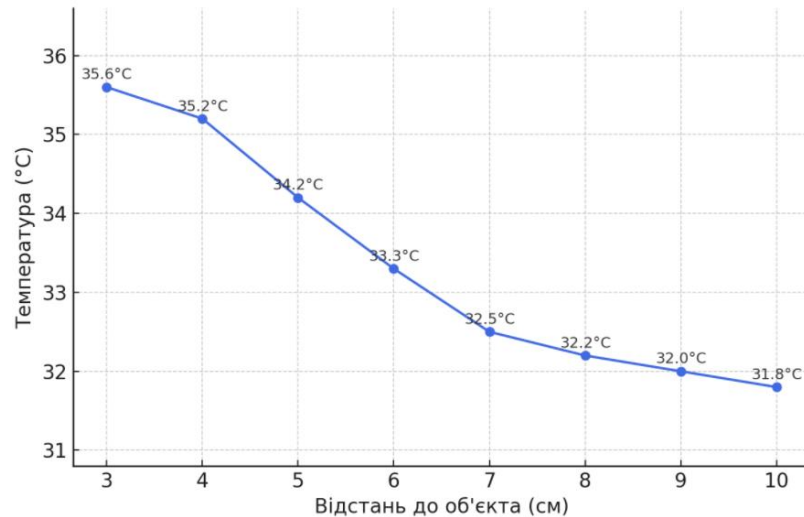


Рис. 3.12 - Вплив відстані до об'єкту

3.6. Експеримент: залежність від кута до об'єкта

Температура вимірювалася під кутами: 0° , 15° , 30° та 45° до об'єкта Рис.3.13. Результати показали, що зі збільшенням кута значення зафіксованої температури зменшується (Рис.3.14). Це свідчить про вплив кута на точність вимірювання в безконтактних пристроях.



Рис.3.13

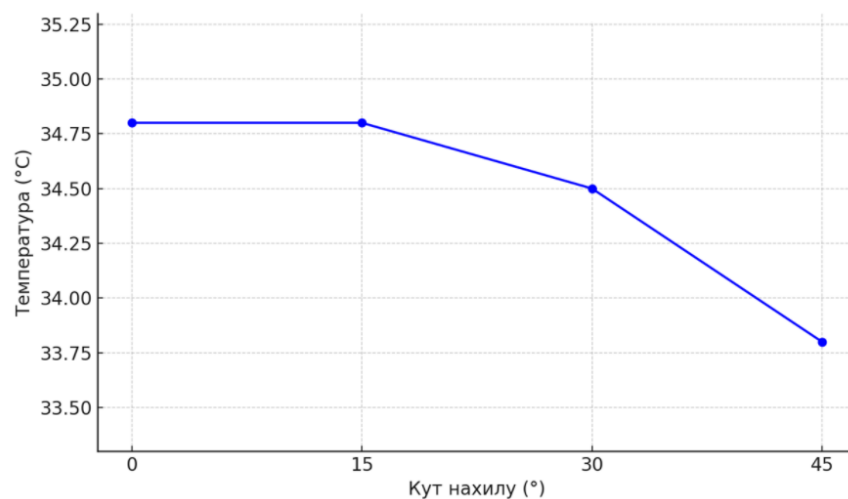


Рис. 3.14 – Вплив кута нахилу до об'єкту

Дослідження показало, що зміна кута нахилу безконтактного термометра до об'єкта безпосередньо впливає на точність вимірювання температури. При кутах до 15° показники залишаються стабільними та точними. Проте зі збільшенням кута до 30° починається незначне зниження виміряної температури, а при 45° воно стає помітним (до 1°C). Це пов'язано з тим, що сенсор бачить меншу частину об'єкта або частково захоплює фон. Таким чином, рекомендується проводити вимірювання перпендикулярно до поверхні або під кутом не більше 15° .

3.7 Порівняльний експеримент з вимірювання температури тіла

Для експерименту стабільності пристрою та дослідженню індивідуальних особливостей терморегуляції було проведено порівняльне вимірювання температури тіла у двох осіб різного віку — 20 років та 15 років. Усі вимірювання здійснювались у однакових умовах: при кімнатній температурі (приблизно 23°C), на відстані 5 см від поверхні чола. Важливою умовою було також те, що пристрій розташовувався перпендикулярно до лоба, тобто точно по нормалі, без нахилу. Це забезпечувало правильний кут вимірювання і мінімізувало похибки.

Кожному учаснику виконували п'ять послідовних вимірювань із проміжком у 30 секунд між ними (Табл.3.2).

Табл.3.2 – Результати порівняльного експеримента

№ вимірювання	Температура ($^\circ\text{C}$) 20 років	Температура ($^\circ\text{C}$) 15 років
1	34.7	35.1
2	34.7	34.5
3	34.8	34.7
4	35.0	34.6
5	35.1	34.7

Середнє значення температури обчислено для кожного учасника:

- 20 років – 34.86 °C;
- 15 років – 34.72 °C.

Результати свідчать про надійність і стабільність показів пристрою за умови правильного положення та фіксованої відстані. Температурні значення у 20-го виявилися стабільнішими, тоді як у 15-го спостерігалось незначне коливання, результати можна бачити на Рис. 3.15. Це може бути пов'язано як з фізіологічними особливостями, так і з мікрозмінами положення голови чи охолодженням шкіри.

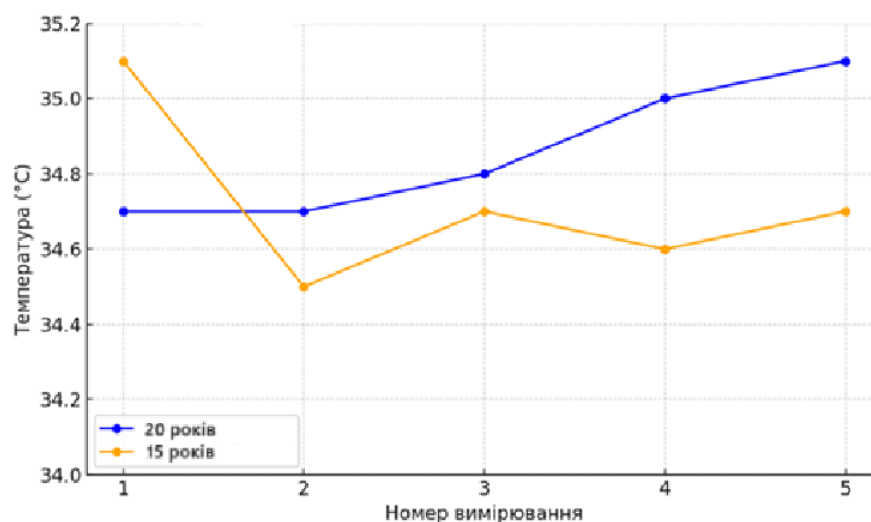


Рис. 3.15 – Порівняння температури тіла 20 та 15 років

Таким чином, результати експерименту підтверджують можливість точного та стабільного вимірювання температури тіла за допомогою безконтактного інфрачервоного методу. За умови дотримання фіксованої відстані та правильного положення датчика результати залишаються достовірними та придатними для використання в побутових або навчальних умовах.

Висновки до Розділу 3

Описаний пристрій на базі мікроконтролера ESP32 із датчиком MLX90614 демонструє хорошу швидкість і зручність у використанні, однак потребує деякого доопрацювання для підвищення точності. Порівняння з іншими типами термометрів виявило, що безконтактний варіант демонструє температуру, нижчу

на 1°C у порівнянні з класичним ртутним. Це цілком очікувано, оскільки інфрачервоні сенсори зчитують лише поверхневу температуру шкіри, яка може бути нижчою за фактичну внутрішню температуру тіла, особливо у прохолодному середовищі.

Одним з важливих напрямків розвитку є створення корпусу для пристрою. На даному етапі всі компоненти змонтовані відкрито, що створює ризик механічних пошкоджень та негативного впливу пилу чи вологи. Корпус може бути виконаний за допомогою 3D-друку або з використанням готових пластикових боксів рис.3.16, а в подальшому навіть адаптований для носіння на руці або кріплення на стіну. Це зробить пристрій більш практичним і довговічним.



Рис.3.16 – Зразок корпусу

Крім цього, у конструкцію можна додати автономне живлення на базі акумулятора, що дозволить не залежати від зовнішнього джерела живлення, наприклад, комп'ютера або павербанка.

Таким чином, навіть базова версія безконтактного термометра на ESP32 має значний потенціал для розвитку та вдосконалення. Вона об'єднує сучасні технології бездротової передачі, зручність у використанні та можливість масштабування функцій, що робить цей пристрій перспективною розробкою в галузі цифрової медицини та індивідуального моніторингу стану здоров'я.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було розроблено автоматизований пристрій для безконтактного моніторингу температури тіла людини. На основі оцінки сучасних методик вимірювання температури підтверджується можливість використання інфрачервоних датчиків, що дозволяє безконтактне показання температури тіла пацієнта. Це особливо важливо в обставинах посилених гігієнічних стандартів та зменшення ймовірності зараження.

Під час розробки апаратної частини рішення про використання мікроконтролера ESP32 Minikit (CP2104) як фундамент для пристрою було виправдано. Інтегрований модуль Wi-Fi, достатня обчислювальна потужність та дотримання інтерфейсу I²C забезпечили ефективну взаємодію з периферійними компонентами. MLX90614 використовувався як датчик температури, який демонстрував задовільну точність при вимірюванні температури в типовому діапазоні, пов'язаному з людським організмом. Для локального відображення результатів був обраний OLED -дисплей з контролером SSD1306, відомим своїм високим контрастом, компактністю та низьким споживанням електроенергії.

У рамках програмної реалізації створено алгоритм з трьома основними станами роботи: очікування, вимірювання та відображення результату. Результати вимірювання передаються на веб-інтерфейс, доступний з будь-якого пристрою в локальній мережі, а також зберігаються у вигляді журналу з часовими мітками.

Експериментальні дослідження показали, що пристрої забезпечують стабільну роботу та швидку реакцію при вимірюванні температури. Однак показано залежність точності результатів зовнішніх факторів: відстань, кут вимірювання, температура навколишнього середовища. Це було основою для формулювання рекомендацій щодо можливих калібрування, додаткових датчиків та компенсації температури.

Окреслено перспективи подальшого розвитку пристроїв, включаючи

створення захисного корпусу, впровадження автономних джерел живлення та інтеграції з мобільними додатками або хмарними платформами.

Таким чином, поставлену в роботі мету досягнуто: створено функціональний прототип безконтактного термометра на основі ESP32. Це дозволяє проводити вимірювання, переглядати результати локально та пересилати їх у веб-інтерфейс у режимі реального часу. Результати можуть бути використані в медичній практиці, навчальних закладах, повсякденному житті та системах первинного контролю за здоров'ям.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Інфрачервоне_випромінювання
2. <https://www.dinmedia.de/en/standard/iso-20473/99486793>
3. (2023) Медична апаратура для індивідуального використання. Лекція 3. Види термометрів для медичного застосування. // Державний університет «Житомирська політехніка», <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=6227>
4. https://redmoon.in.ua/ua/p1771889762-nastennyj-beskontaktnyj-infrakrasnyj.html?srsltid=AfmBOop9GhtPaN0p19q7eeg-4lDzuD_pbxUJO6S3kw-REgNdliY_3jHY
5. <https://okna-dveri.com.ua/ua/p2123442600-nastennyj-beskontaktnyj-infrakrasnyj.html?srsltid=AfmBOoo5vp58kfDaRyjQacHzH-uZKXyLtwJE5JSSKxTFjV7cD9EKIkLw>
6. <https://tehnomix.com.ua/ru/beskontaktnyy-termometr-hi8us-hg-02-s-golosovym-vedomleniem/?srsltid=AfmBOoqgHoawNBngQu9ivKlu1CqFqihwkkkuBBnO3PuNSRFBLU1w9W5sF>
7. https://megabayt.com.ua/image/cache/webp/catalog/termometri-dlya-tila-folder/7/a-4349020320_stok-nastinnij-termometr-300x300.webp
8. Santoso G., Firman D., Hani S., Raharjo S., Setyaningsih E., Prasetyo R. Design of a Human Body Temperature Measuring Instrument with a Contactless Based System Internet of Things // Engineering and Technology Journal, Volume 08, Issue 12, December-2023, P/ 3208-3211.
9. Тележинський В. Д. Інтелектуальний зонд оцінки температури тіла. Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра. / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2022. – 45 с.
10. A.A. Rahimoon, M.N. Abdullah, I. Taib. **Design of a contactless body temperature measurement system using arduino.** // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science , Vol. 19, No. 3, September 2020 : P.1251 – 1258

- 11.Варян С.А. Комп'ютеризована система для безконтактного контролю температури людей при вході в приміщення. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021. – 71 с.
- 12.V. Venkataramanan, D.Shah, I.Panda, S.Shah, R.Davawala, K.Shah, K.Salot. Smart automatic COVID door opening system with contactless temperature sensing system with contactless temperature sensing. // **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, Volume 6, December 2023, 10028 <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100284>
- 13.Руніков Ю. Р. Автоматизована система моніторингу температури співробітників на прохідній в умовах пандемії Covid19. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Навчально-науковий інститут електроенергетики, Дніпро, 2022. – 74 с.
- 14.14 Abhijeet Kumar* and Arpit Kumar Contactless temperature and distance measuring device: A low-cost, novel infrared -based —Badgel- shaped structural model for measuring physical distance and body temperature. // AIMS Electronics and Electrical Engineering, 6(1), 2022: P.43–60.
- 15.Naif K. Al-Shammari, Husam B. Almansour, Muzamil Basha Syed. Development of an Automatic Contactless Thermometer Alert System Based on GPS and Population Density. // Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 11, No. 2, 2021, P.7006-7010.
- 16.Микал І.О. Пристрій для безконтактного вимірювання температури тіла та збору статистики. Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра. / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2022. – 45 с.
- 17.<https://arduino.ua/ru/prod2610-arduino-uno-r3-ch340>
- 18.https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

19. [https://myproject.com.ua/image/cache/webp/catalog/1550/modul_wi-fi_esp32_minikit_\(cp2104\)_microusb_typec-1024x1024.webp](https://myproject.com.ua/image/cache/webp/catalog/1550/modul_wi-fi_esp32_minikit_(cp2104)_microusb_typec-1024x1024.webp)
20. <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2104.pdf>
21. <https://arduino.ua/ru/prod1431-modyl-beskontaktnogo-termmetra-mlx90614?srsId=AfmBOoqyYh9lvfUPKb3BeHzV5U1V0RZ0KrAU8HmWrlB7DHYuFaFJgOKO>
22. <https://arduino.ua/prod5065-sparkfun-grid-eye-infrared-array-breakout-amg8833-qwiic>
23. Melexis MLX90614 Datasheet —
<https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>
24. <https://arduino.ua/ru/prod1178-oled-displei-0-96-i2c-128x64-jelto-sinii>
25. <https://arduino.ua/ru/prod169-lcd-1602-simvolnii-displei-16x2-sinii>
26. <https://arduino.ua/ru/prod6841-1-8inch-lcd-display-module-for-raspberry-pi-pico-65k-colors-160128-spi>
27. SSD1306 Datasheet. — Adafruit Industries. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
28. Monochrome OLED Breakouts. — Adafruit Learning System. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/monochrome-oled-breakouts>
29. NXP I2C Protocol Specification — <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
30. <https://cdn.27.ua/sc--media--prod/default/71/75/b7/7175b7b4-317c-4130-a0f8-81fe649ca17c.jpg>