

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

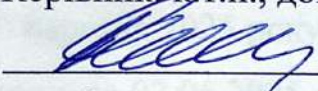
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Виконав: студент 4 курсу,
групи БМІ-216,
спеціальності 163 Біомедична інженерія

 Устіннов Я. А.

Керівник: к.т.н., доцент, зав. каф. БМІОЕС

 Коваль Л. Г.

« 13 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., ст. викладач каф. ІРТС

 Притула М. О.

« 13 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри БМІОЕС

Коваль Л. Г.


« 16 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Бакалавр
Спеціальність 163 Біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри БМІОЕС
к. т. н., доцент Коваль Л. Г.



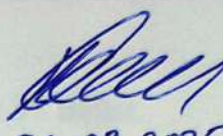
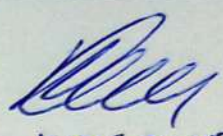
«20» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу
студенту Устінову Ярославу Андріановичу, гр. БМІ-216

1. Тема БДР «Пристрій для безконтактного вимірювання температури», керівник роботи зав. каф. БМІОЕС, доцент Коваль Леонід Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом ВНТУ від 20 березня 2025 року № 97.
2. Строк подання студентом роботи – до 02.06.2025 р.
3. Вихідні дані для роботи: носимий портативний пристрій, приймач інфрачервоного випромінювання, рівень вхідного сигналу 1-20 Вт, напруга живлення 12 В, споживана потужність – не більше 10 Вт, габаритні розміри – не більше 300 x 100 x 100 мм, маса – не більше 150 г, ймовірність відмови – не більше $15,0 \times 10^{-6}$ год⁻¹.
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Теоретичні основи безконтактного вимірювання температури; 2. Огляд аналогів.
3. Конструкторський розділ. 4. Опрацювання питань охорони праці.
5. Зміст ілюстративної частини (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): схема функціональна, схема електрична принципова, плата друкована, складальний кресленик.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Коваль Л. Г., к.т.н., доцент, зав. кафедри БМІОЕС	 20.03.2025	 13.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С. В., д. п. н., професор кафедри БЖДПБ	 24.03.25	 30.05.25

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів БДР	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	До 20.03.2025	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	До 21.04.2025	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	До 19.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 30.05.2025	
5	Попередній захист БДР	06.06.2025	
6	Нормоконтроль БДР	09.06.2025	
7	Рецензування БДР	13.06.2025	
8	Захист БДР	20.06.2025	

Студент


(підпис)

Ярослав УСТИНОВ

Керівник роботи


(підпис)

Леонід КОВАЛЬ

АНОТАЦІЯ

Устінов А. Я. БКР на тему «Пристрій для безконтактного вимірювання температури». Вінниця : ВНТУ, 2025. 80 с.

Українською мовою. 3 рис., 9 табл., бібліогр. 37 найм.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто принцип роботи, діагностичне значення та перспективи розвитку приладів для безконтактної термометрії, що використовують пірометричний ефект. Проаналізовані існуючі прилади та умови їх експлуатації. В роботі розроблено організацію пристрою для безконтактного вимірювання температури тіла людини, побудовано структурно-функціональну схему пірометра, спроектовано плату друковану, здійснено компонування пристрою, а також опрацьовані питання охорони праці при його виготовленні.

ABSTRACT

Ustinov A. Ya. Bachelor thesis on the topic «Device for non-contact temperature measurement». Vinnytsia : VNTU, 2025. 80 p.

In Ukrainian. Figs. 3, Tables 9, Refs. 37.

The bachelor's thesis considers the principle of operation, diagnostic value and prospects for the development of devices for non-contact thermometry that use the pyrometric effect. Existing devices and their operating conditions are analyzed. The work develops the organization of a device for non-contact measurement of human body temperature, builds a structural and functional diagram of the pyrometer, designs a printed circuit board, arranges the device, and also addresses issues of labor protection during its manufacture.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	7
1.1 Фізична природа температури та її вимірювання.....	7
1.2 Принципи інфрачервоного випромінювання та його зв'язок із температурою.....	9
1.3 Основні методи вимірювання температури.....	12
1.4 Теоретичні основи безконтактного вимірювання температури.....	14
1.5 Особливості температурного контролю біологічних об'єктів.....	16
1.6 Фактори, що впливають на точність безконтактного вимірювання.....	19
1.7 Висновки до розділу 1.....	21
2. ОГЛЯД ПРИЛАДІВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	23
2.1 Класифікація безконтактних приладів для вимірювання температури....	23
2.2 Принципи роботи інфрачервоних термометрів.....	25
2.3 Конструктивні особливості сучасних інфрачервоних температурних сенсорів.....	27
2.4 Технічні характеристики та діапазони вимірювань безконтактних приладів.....	30
2.5 Огляд ринку безконтактних температурних приладів.....	32
2.6 Аналіз переваг і обмежень існуючих безконтактних пристроїв.....	35
2.7 Висновки до розділу 2.....	37
3. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	38
3.1 Обґрунтування вибору безконтактного термометра радіаційного типу....	38
3.2 Моделювання оптичної схеми пристрою для безконтактного вимірювання температури.....	39
3.3 Схеми роботи пристрою для безконтактного вимірювання температури.....	44
3.4 Вибір ключових апаратних складових.....	46

3.5 Вибір додаткових компонентів.....	54
3.6 Огляд функціоналу пристрою та принцип користування.....	55
3.7 Висновки до розділу 3.....	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	59
4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця	59
4.1.2. Електробезпека приміщення.....	60
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	61
4.2.1 Мікроклімат	61
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	62
4.2.3 Виробниче освітлення	64
4.2.4 Виробничий шум.....	65
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	66
4.3 Пожежна безпека.....	67
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	68
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	69
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	77
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки на наявність текстових запозичень	80

ВСТУП

Актуальність. У сфері біомедичної інженерії розробка технологій для точного, безпечного та неінвазивного моніторингу фізіологічних параметрів організму є пріоритетним напрямом. Одним із ключових життєво важливих показників є температура тіла, яка відіграє важливу роль у діагностиці, моніторингу перебігу захворювань і контролі за станом пацієнтів у реальному часі. Традиційні контактні методи вимірювання температури мають низку обмежень, зокрема необхідність фізичного контакту з пацієнтом, можливість перехресного інфікування, дискомфорт при тривалому моніторингу, а також обмеження у важкодоступних або чутливих зонах.

Безконтактні інфрачервоні температурні сенсори, інтегровані в біомедичні прилади, дозволяють вирішити ці проблеми завдяки дистанційному зчитуванню температури з високою швидкістю та достатньою точністю. Особливої актуальності такі пристрої набувають у педіатрії, інтенсивній терапії, під час епідемій вірусних інфекцій, а також у телемедичних системах та носимих пристроях. В умовах зростання попиту на автоматизовані й безпечні системи контролю життєвих показників постає необхідність у створенні доступних, надійних і технологічно досконалих рішень, які можуть бути легко адаптовані до медичних протоколів та інтегровані у клінічну інфраструктуру.

Розробка пристрою для безконтактного вимірювання температури у межах біомедичної інженерії не лише сприяє покращенню медичного обслуговування, але й відповідає сучасним тенденціям розвитку медицини. Така робота дозволяє поєднати знання фізики, електроніки та медичних стандартів у прикладному технічному рішенні, що відповідає запитам клінічної практики та суспільної безпеки.

Таким чином, обрана тема є актуальною як з точки зору науково-технічного прогресу, так і з позиції практичного впровадження біомедичних інженерних рішень у сферу охорони здоров'я.

Метою даної роботи є дослідження принципу безконтактного вимірювання температури біологічних об'єктів та розробка конструкції приладу, що реалізує цей принцип.

Для вирішення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз теоретичних засад безконтактного вимірювання температури;
- розробити макет пристрою для безконтактного вимірювання температури;
- здійснити обґрунтований вибір елементної бази для реалізації конструкції приладу.

Об'єкт дослідження: процес безконтактного вимірювання температури біологічного об'єкта за допомогою інфрачервоного випромінювання.

Предмет: розробка та дослідження роботи пристрою для безконтактного вимірювання температури.

Практичне значення роботи полягає в розробці макету простого пристрою для безконтактного вимірювання температури, який може бути використаний у навчальному процесі або як основа для подальшого вдосконалення.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1 Фізична природа температури та її вимірювання

Температура є однією з фундаментальних фізичних величин, що характеризує тепловий стан матеріальної системи. Вона відображає середню кінетичну енергію хаотичного руху частинок — атомів, молекул або іонів, які складають речовину. Чим вища температура, тим швидше рухаються ці частинки, що збільшує їхню середню кінетичну енергію. Абсолютна температура вимірюється у кельвінах і бере свій початок від абсолютного нуля — теоретичної межі, при якій припиняється тепловий рух частинок. З фізичної точки зору температура є мірою енергетичного стану системи і визначає напрямок теплового потоку: тепло завжди передається від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою до встановлення теплової рівноваги. Зв'язок між температурою та середньою кінетичною енергією теплового руху частинок може бути представлений приблизно у вигляді пропорції:

$$T \sim \langle E_k \rangle \quad (1.1)$$

де T — абсолютна температура, а $\langle E_k \rangle$ — середня кінетична енергія частинок, що залежить від маси і швидкості руху молекул.

Вимірювання температури базується на залежності різних фізичних властивостей матеріалів від теплового стану об'єкта. Традиційні контактні методи вимірювання температури включають використання термометрів на основі теплового розширення рідин, термопар, терморезисторів тощо, де сенсор безпосередньо контактує з об'єктом вимірювання. Однак такі методи можуть бути незручними або неприйнятними при вимірюванні температури гарячих, рухомих або делікатних об'єктів, а також у медичних застосуваннях, де необхідно мінімізувати контакт із пацієнтом.

Безконтактне вимірювання температури ґрунтується на фізичному явищі теплового випромінювання, яке притаманне будь-якому тілу, температура якого перевищує абсолютний нуль. Квантова теорія

випромінювання Планка описує спектральний розподіл інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла як функцію довжини хвилі

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (1.2)$$

де $I(\nu, T)$ — спектральна густина енергії випромінювання (інтенсивність) при частоті ν і температурі T , h — стала Планка, ν — частота, c — швидкість світла у вакуумі, k_B — стала Больцмана, T — абсолютна температура.

Ця формула визначає розподіл інтенсивності випромінювання по довжинах хвиль, що випромінює абсолютно чорне тіло при певній температурі, і є основою для роботи інфрачервоних термометрів і пірометрів.

$$P = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4 \quad (1.3)$$

Де P — потужність випромінювання, σ — стала Стефана–Больцмана, ε — емісивність поверхні, A — площа поверхні.

Реальні тіла, на відміну від ідеального абсолютно чорного, випромінюють менше енергії, тому емісивність необхідно враховувати для точного визначення температури за допомогою інфрачервоного випромінювання. Емісивність залежить від матеріалу, текстури, кольору та інших характеристик поверхні[1].

Безконтактні методи вимірювання температури широко використовуються завдяки їх здатності забезпечувати швидкі і безпечні вимірювання без фізичного контакту з об'єктом. Це особливо важливо у медичних застосуваннях, промисловості, екології, де контакт з об'єктом або поверхнею є складним або небезпечним. Однак точність безконтактних вимірювань може бути знижена через вплив навколишнього середовища: атмосферні умови, наявність пилу, вологи, диму чи інших домішок можуть поглинати або розсіювати інфрачервоне випромінювання, що призводить до похибок у визначенні температури. Для компенсації цих впливів у сучасних безконтактних пристроях застосовують різноманітні методи калібрування та корекції даних.

Особливу роль у безконтактних методах відіграють характеристики об'єкта, такі як його емісивність та геометрія. Неврахування емісивності поверхні може призвести до суттєвих помилок, особливо якщо поверхня блискуча або має неоднорідну структуру. Крім того, відстань від датчика до об'єкта впливає на інтенсивність отриманого сигналу, тому для забезпечення точності необхідне врахування цього параметра, а також використання оптичних систем з фокусуванням[2].

Відповідно, фізична природа температури пов'язана з кінетичною енергією мікрочастинок та їх тепловим випромінюванням, а сучасні методи її вимірювання, особливо безконтактні, базуються на вимірюванні інтенсивності інфрачервоного випромінювання з урахуванням законів квантової механіки та теплового випромінювання. Це відкриває широкі можливості для застосування у різних галузях, забезпечуючи точність, оперативність і безпеку вимірювань, які є критичними у сучасних технологіях та наукових дослідженнях.

1.2 Принципи інфрачервоного випромінювання та його зв'язок із температурою

Інфрачервоне випромінювання є результатом теплових процесів, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні в будь-якому матеріалі з температурою вище абсолютного нуля. Уся матерія, незалежно від свого агрегатного стану — тверда, рідка чи газоподібна — постійно перебуває в стані хаотичних теплових коливань атомів і молекул, які мають електричний заряд. Ці коливання спричиняють виникнення електромагнітних хвиль у довгохвильовому діапазоні спектра, який називається інфрачервоним. Довжина хвиль цього випромінювання знаходиться в межах приблизно від 0,7 мікромметра до 1 мм, що робить його невидимим для людського ока, але його енергія достатня для передачі інформації про тепловий стан об'єкта.

Фізична природа інфрачервоного випромінювання полягає в тому, що воно є випромінюванням теплового руху заряджених частинок у речовині. Електрони, які коливаються навколо ядер атомів, а також міжмолекулярні коливання створюють змінні електромагнітні поля, що поширюються у вигляді хвиль. Інтенсивність цього випромінювання та його спектральний склад прямо залежать від температури матеріалу: чим вища температура, тим більше енергії випромінюється і тим коротші хвилі переважають у спектрі. Це пов'язано з тим, що температура характеризує середню кінетичну енергію частинок у системі, а електромагнітне випромінювання — це спосіб розсіювання цієї енергії у навколишнє середовище.

Залежність характеристик інфрачервоного випромінювання від температури дозволяє використовувати його для безконтактного вимірювання температури об'єктів. Оскільки прямий контакт з поверхнею об'єкта не потрібен, цей метод особливо корисний для визначення температури рухомих, гарячих, або потенційно небезпечних об'єктів, а також тих, доступ до яких утруднений або неможливий. Технічно для цього застосовують спеціальні детектори інфрачервоного випромінювання — пірометри, тепловізори, спектрометри, які фіксують енергію у визначеному діапазоні довжин хвиль і переводять її у значення температури.

Одним із ключових факторів, що впливає на точність вимірювань за допомогою інфрачервоного випромінювання, є емісійність поверхні об'єкта — її здатність випромінювати інфрачервоні хвилі. Емісійність залежить від матеріалу, стану поверхні, її текстури, забруднень та інших зовнішніх факторів. Матеріали з високою емісійністю (наприклад, матові чорні поверхні) практично повністю випромінюють теплову енергію, тоді як блискучі, металеві поверхні мають низьку емісійність, відбиваючи значну частину інфрачервоного випромінювання. Тому при точних вимірюваннях температури інфрачервоні прилади повинні бути налаштовані з урахуванням емісійності або застосовуватися методи компенсації її впливу.

Також суттєве значення має вибір спектрального діапазону, у якому здійснюється реєстрація випромінювання. Різні матеріали мають свої спектральні характеристики і в окремих ділянках інфрачервоного спектра випромінювання більш інтенсивне та інформативне. Відповідно, виробники приладів застосовують спектральні фільтри або детектори, чутливі до конкретних діапазонів хвиль, щоб покращити точність та надійність вимірювань. Наприклад, в деяких медичних чи промислових застосуваннях використовують вузькосмугові пірометри, що фіксують випромінювання на певній довжині хвилі, оптимальній для аналізованого матеріалу.

Окрім емісійності та спектральних особливостей, вимірювання температури інфрачервоним методом ускладнюється впливом навколишнього середовища. Атмосферні гази, пил, дим або волога можуть частково поглинати або розсіювати інфрачервоне випромінювання, що призводить до спотворень сигналу. Тому для високоточних вимірювань важливо враховувати умови навколишнього середовища або проводити калібрування приладів у відповідних діапазонах та з урахуванням корекційних коефіцієнтів.

В сукупності ці фізичні особливості інфрачервоного випромінювання і детальні знання про їх взаємодію з матеріалами утворюють фундамент для розробки та удосконалення приладів безконтактного вимірювання температури. Ці прилади застосовуються в багатьох сферах — від медицини та харчової промисловості до енергетики й аерокосмічної галузі, дозволяючи контролювати тепловий стан об'єктів швидко, точно та без ризику пошкодження або забруднення[3].

Інфрачервоне випромінювання є природним фізіологічним явищем не лише для неживих матеріалів, а й для біологічних об'єктів. Усі живі організми, включно з людиною, постійно випромінюють інфрачервоне світло у зв'язку з тепловими процесами, що відбуваються всередині їхніх тканин і клітин. Температура тіла живих організмів підтримується в досить вузьких межах гомеостазу, тому спектр та інтенсивність їх інфрачервоного випромінювання

є досить стабільними, що робить цей тип випромінювання важливим показником стану здоров'я та фізіологічного стану.

Інфрачервоне випромінювання біологічних об'єктів несе інформацію про температуру поверхні шкіри або слизових оболонок, а також про зміни, що виникають під впливом патологічних процесів, запалень або порушень кровообігу. Наприклад, локальне підвищення температури у вигляді зони з більш інтенсивним ІЧ-випромінювання може свідчити про наявність запального процесу, тоді як зниження температури може бути пов'язане з порушеннями кровообігу або ураженням тканин. Завдяки цьому інфрачервоні методи стали широко застосовуватися в медицині для діагностики і моніторингу різних захворювань.

Завдяки своїй неінвазивності та безконтактності інфрачервоне вимірювання температури біологічних об'єктів забезпечує комфортні умови дослідження, особливо для пацієнтів із підвищеною чутливістю або у випадках, коли контактні методи неможливі чи небажані. Теплові камери і пірометри дозволяють оперативно фіксувати температурні карти поверхні тіла, що відкриває широкі можливості для ранньої діагностики, оцінки ефективності лікування і контролю за перебігом хвороб[2].

Таким чином, інфрачервоне випромінювання біологічних об'єктів є не лише фізичним феноменом, а й цінним діагностичним інструментом, який дозволяє отримувати важливу інформацію про функціональний стан організму без шкоди для пацієнта, що особливо актуально у сучасній біомедичній інженерії та клінічній практиці.

1.3 Основні методи вимірювання температури

Основні методи вимірювання температури охоплюють широкий спектр підходів, що базуються на різних фізичних принципах, які відображають тепловий стан об'єкта. Вони поділяються на контактні та безконтактні методи. Контактні методи передбачають безпосередній фізичний контакт

вимірювального датчика з поверхнею або середовищем, температуру якого необхідно визначити. Найпоширенішими серед них є термометри опору, термопари, а також термочутливі елементи на основі напівпровідників. Термопари, наприклад, генерують електрорушійну силу, яка пропорційна різниці температур між двома контактними металами, що дозволяє вимірювати температуру з високою точністю в різних умовах. Резистивні термометри використовують залежність електричного опору провідника або напівпровідника від температури, що дає змогу визначати температуру через вимірювання опору. Хоча ці методи є досить точними, вони мають обмеження, пов'язані з необхідністю безпосереднього контакту, що може бути небезпечним або незручним при вимірюванні температури гарячих, рухомих або хімічно активних об'єктів.

Безконтактні методи вимірювання температури, навпаки, дозволяють визначати температуру об'єкта без фізичного дотику. Найбільш розповсюдженим і універсальним серед них є інфрачервона термометрія, яка базується на вимірюванні теплового випромінювання, що випромінює кожне тіло у вигляді інфрачервоного спектра, що залежить від його температури. Цей метод ґрунтується на фундаментальних законах термодинаміки та квантової механіки, зокрема на законі Планка та законом Стефана-Больцмана, що описують спектральну густину та загальну інтенсивність випромінювання чорного тіла. Безконтактна термометрія дозволяє швидко та точно визначати температуру об'єктів навіть на відстані, що є надзвичайно корисним у таких сферах, як медицина, електроніка, харчова промисловість та автоматизація виробництва.

Окрім інфрачервоної термометрії, безконтактні методи також включають спектроскопічні техніки, які базуються на аналізі змін оптичних властивостей речовини при різній температурі, таких як люмінесценція або зміна інтенсивності пропускання світла. Наприклад, оптичні термометри можуть використовувати флуоресцентні або фосфоресцентні матеріали, які змінюють свої оптичні характеристики залежно від температури, що дає змогу

проводити безконтактні вимірювання з високою просторовою роздільною здатністю. Радіометричні методи, у свою чергу, застосовують вимірювання потужності електромагнітного випромінювання у різних спектральних діапазонах, дозволяючи визначати температуру як на макро-, так і на мікрорівнях[4].

Кожен із цих методів має свої переваги і недоліки. Контактні методи зазвичай забезпечують високу точність і відносну простоту конструкції, але не завжди придатні для динамічних або високотемпературних середовищ. Безконтактні методи, натомість, більш універсальні та безпечні, проте потребують врахування факторів, що впливають на випромінювання об'єкта, таких як його поверхнева емісивність, наявність пилу чи диму в середовищі, а також дистанція вимірювання. Вибір оптимального методу визначається вимогами конкретного застосування, умовами експлуатації та необхідною точністю.

У сучасних технологіях безконтактне вимірювання температури набуває все більшого значення, особливо в медицині, де важливо швидко і безболісно оцінити стан пацієнта, у промисловості для контролю технологічних процесів, а також у біомедичній інженерії, де точне вимірювання температури біологічних тканин може мати вирішальне значення для діагностики та лікування. Таким чином, розуміння основних методів вимірювання температури та їх фізичних основ є необхідною передумовою для розробки нових приладів та технологій, що відповідають сучасним вимогам точності, швидкості та безконтактності.

1.4 Теоретичні основи безконтактного вимірювання температури

Безконтактне вимірювання температури ґрунтується на фундаментальному фізичному явищі теплового інфрачервоного випромінювання, що виникає через тепловий рух молекул та атомів у будь-якому матеріалі з температурою вище абсолютного нуля. Всі об'єкти, включно

з живими організмами, випромінюють електромагнітні хвилі в інфрачервоному спектрі, інтенсивність яких прямо пропорційна температурі об'єкта. Цей процес детально описується законом Планка, який формалізує залежність спектральної густини випромінюваної енергії від температури та довжини хвилі. Розуміння цього закону є ключовим для коректного інтерпретування даних, отриманих за допомогою інфрачервоних датчиків.

Для точного визначення температури об'єкта за допомогою безконтактних методів необхідно враховувати параметр, що називається емісивністю поверхні. Емісивність — це характеристика матеріалу, що відображає його здатність випромінювати інфрачервоне світло, і вона може значно варіюватися залежно від типу матеріалу, його структури, текстури поверхні та стану (наприклад, вологість, забруднення, окислення). Значення емісивності коливається від 0 (ідеально відбивна поверхня) до 1 (ідеальне чорне тіло, що випромінює максимум теплової енергії). Вимірювання інфрачервоного випромінювання без урахування емісивності може призвести до суттєвих похибок у визначенні температури, тому вона завжди враховується в алгоритмах обробки сигналів.

Крім емісивності, на точність вимірювання впливають фактори середовища між об'єктом та інфрачервоним датчиком. Атмосферні умови, такі як вологість, наявність пилу, диму чи інших домішок, можуть поглинати або розсіювати інфрачервоне випромінювання, а також накладатися на фонове теплове випромінювання довкілля, ускладнюючи аналіз. Для коректного визначення температури теоретичні моделі враховують параметри середовища та методи компенсації їхнього впливу[5].

Важливою складовою теоретичних основ є і оптична система безконтактного приладу. Вона забезпечує збір інфрачервоного випромінювання з певної площі об'єкта та його спрямування на датчик. Поле зору оптичної системи визначає розмір ділянки поверхні, з якої проводиться вимірювання температури. Неправильний вибір параметрів поля зору може призводити до усереднення температури з навколишніх областей або до

недостатньої точності, особливо якщо поверхня неоднорідна за температурою. Отже, теоретична модель включає опис оптичних властивостей і геометрії приладу.

Додатково, теоретична основа безконтактного вимірювання враховує фізичні властивості об'єктів, зокрема неоднорідність температурного поля на їх поверхні, що може виникати через внутрішні процеси, теплопровідність, конвекцію або інші фактори. Також розглядаються динамічні зміни температури в часі, що важливо для оцінки стану об'єкта в режимі реального часу. Для забезпечення максимальної точності використовують методи калібрування і алгоритми компенсації шумів та інших зовнішніх впливів[6].

Отже, теоретичні основи безконтактного вимірювання температури охоплюють фізику теплового інфрачервоного випромінювання, характеристики матеріалів і їх емісивності, вплив параметрів навколишнього середовища, оптичні властивості приладів і особливості теплового поля об'єктів. Застосування цих знань дозволяє розробляти точні методи та пристрої для визначення температури без фізичного контакту з об'єктом, що є надзвичайно важливим у багатьох наукових і технічних сферах.

1.5 Особливості температурного контролю біологічних об'єктів

Температурний контроль біологічних об'єктів має низку специфічних особливостей, які відрізняють його від температурних процесів у неживих матеріалах і технічних системах. Насамперед температура в живих тканинах є одним із найважливіших параметрів, що визначають нормальне функціонування клітинних процесів і загальний стан організму. Біохімічні реакції, зокрема ферментативні, мають вузький температурний оптимум, у межах якого вони протікають найбільш ефективно. Навіть незначне відхилення температури від нормальних фізіологічних меж може призвести до порушення метаболізму, зміни структур білків і ферментів, а в деяких випадках викликати патологічні стани, такі як запалення або некроз тканин.

По-друге, у біологічних об'єктах діють складні механізми терморегуляції, які забезпечують підтримку постійної температури тіла незалежно від змін навколишнього середовища. Цей процес регулюється центральною нервовою системою, терморецепторами, кровоносною системою та гормональними впливами. Терморецептори, розташовані в шкірі та внутрішніх органах, передають інформацію про локальні зміни температури до гіпоталамуса — центру терморегуляції в головному мозку. У відповідь на це організм активує адаптивні механізми, такі як розширення або звуження судин, посилене потовиділення або м'язове тремтіння, які сприяють збереженню або розсіюванню тепла. Наприклад, при підвищенні температури зовнішнього середовища відбувається активація потових залоз і судинне розширення, що допомагає охолоджувати тканини, а при охолодженні — навпаки, судини звужуються, а м'язи починають скорочуватися, генеруючи тепло.

По-третє, температурні параметри в різних ділянках організму неоднорідні і можуть суттєво відрізнятися через особливості кровообігу, метаболічної активності та локального теплообміну. Так, активні метаболічно органи, такі як мозок, печінка або м'язи, зазвичай мають вищу температуру порівняно з поверхневими шарами шкіри. Це створює складні температурні градієнти, які необхідно враховувати при проведенні безконтактних температурних вимірювань, оскільки такі методи, як інфрачервона термографія, реєструють саме поверхневу температуру, що не завжди точно відображає внутрішній стан організму.

Ще однією важливою особливістю є специфічна емісивність біологічних тканин в інфрачервоному діапазоні спектра. Емісивність залежить від хімічного складу тканин, їх структури, рівня зволоження, а також від фізіологічного чи патологічного стану. Наприклад, уражені або запалені ділянки тканин можуть мати підвищену температуру і змінену емісивність, що відбивається на характеристиках їх теплового випромінювання. Зміна емісивності впливає на точність безконтактних вимірювань, оскільки прилади

інтерпретують інтенсивність випромінювання як температуру поверхні, і при неправильному врахуванні емісивності можливі значні похибки. Тому для підвищення точності температурного моніторингу необхідно враховувати цей параметр ϵ , за можливості, використовувати методи калібрування, що коригують вплив емісивності[7].

Додатково, зовнішні фактори, такі як температура і вологість повітря, наявність одягу чи покривів на шкірі, а також рух повітря, можуть істотно впливати на точність безконтактних методів вимірювання температури біологічних об'єктів. Наприклад, шар одягу може створювати додатковий бар'єр для інфрачервоного випромінювання або змінювати температуру поверхні шкіри, що ускладнює коректне визначення реальної температури тіла. Вологість і рух повітря можуть впливати на процес тепловіддачі, змінюючи температуру поверхні, яку фіксують датчики.

У зв'язку з цим, розробка і використання безконтактних пристроїв для вимірювання температури біологічних об'єктів вимагає врахування комплексу фізіологічних, біофізичних і зовнішніх факторів. Потрібно забезпечувати точне калібрування приладів із урахуванням емісивності тканин, оптимальні умови вимірювань, а також застосовувати алгоритми компенсації впливу зовнішніх чинників. Тільки за таких умов можна отримати достовірні дані, що необхідні для медичної діагностики, контролю стану пацієнтів і наукових досліджень.

Отже, особливості температурного контролю біологічних об'єктів пов'язані з унікальною фізіологією живих систем, складною структурою і властивостями тканин, а також впливом навколишнього середовища. Це створює додаткові виклики для безконтактних методів вимірювання, які вимагають ретельного врахування усіх перерахованих факторів для забезпечення високої точності і надійності результатів.

1.6 Фактори, що впливають на точність безконтактного вимірювання

Точність безконтактного вимірювання температури в медичній практиці є надзвичайно важливим аспектом, оскільки результати цих вимірювань безпосередньо впливають на діагностику, моніторинг стану пацієнта та прийняття клінічних рішень. Для забезпечення високої точності необхідно враховувати ряд факторів, які можуть суттєво впливати на результат і викликати як систематичні, так і випадкові помилки. Перш за все, одним із основних факторів є емісивність шкіри, яка характеризує здатність поверхні тіла випромінювати інфрачервоне тепло. У середньому емісивність шкіри людини близька до 0,98, але вона може змінюватися під впливом таких факторів, як зволоженість шкіри, наявність поту, косметичних засобів або забруднень. Ці варіації емісивності можуть призводити до помилок у визначенні температури, адже інфрачервоне випромінювання, яке фіксує прилад, безпосередньо залежить від цієї характеристики. Зниження або завищення емісивності спричиняє відповідно неправильні показники, що в клінічних умовах може вплинути на своєчасність та якість діагностики інфекційних, запальних або інших патологічних станів.

Крім фізичних властивостей шкіри, істотний вплив на точність вимірювання має зовнішнє середовище, в якому проводиться процедура. Медичні установи зазвичай підтримують контрольовані умови температури і вологості, проте навіть невеликі коливання навколишньої температури, наявність протягів або активна вентиляція можуть призвести до охолодження або локального нагрівання шкірного покриву, що викривляє результати. Особливо помітним є вплив яскравого освітлення, зокрема інфрачервоного та ультрафіолетового, яке може збільшувати поверхневу температуру шкіри. Це особливо важливо при вимірюванні температури відкритих ділянок тіла — лоба, шиї, кистей рук — де шкіра безпосередньо піддається впливу світла та повітряних потоків. Таким чином, для забезпечення достовірності результатів необхідно не тільки дотримуватися оптимальних кліматичних умов, але й

вибирати правильну ділянку тіла для вимірювання, яка мінімізує вплив зовнішніх факторів.

Велику роль відіграють і технічні характеристики самого безконтактного термометра. В медичній практиці пристрої повинні мати високу спектральну чутливість у діапазоні середнього інфрачервоного спектра, адже саме у цьому діапазоні шкіра людини найактивніше випромінює тепло. Роздільна здатність сенсора визначає, наскільки точно прилад може визначити температуру на невеликій ділянці шкіри, що особливо важливо для точкових вимірювань або контролю локалізованих змін температури. Сучасні медичні безконтактні термометри оснащені системами калібрування, самоперевірки і компенсації температурних коливань, що суттєво підвищує їх надійність. Не менш важливим є дотримання рекомендованої виробником відстані між датчиком і тілом пацієнта, оскільки збільшення відстані призводить до ослаблення інфрачервоного сигналу і зниження точності. Також, забруднення оптичних компонентів приладу або пошкодження сенсора можуть спричинити появу систематичних похибок, тому медичні заклади повинні регулярно здійснювати технічне обслуговування пристроїв.

Особливості шкірного покриву пацієнта теж значною мірою впливають на точність вимірювань. Наявність волосся, родимок, пігментації, ран чи подразнень змінює характеристики поверхні, що впливає на інтенсивність та спектр інфрачервоного випромінювання. Крім того, нанесені на шкіру косметичні засоби, дезінфікуючі рідини або креми можуть створювати додатковий шар, який змінює емісивність і відбивну здатність поверхні. Особливо це важливо при роботі з дітьми або пацієнтами, які мають пошкодження шкіри, адже неправильний вибір ділянки для вимірювання може призвести до спотворення даних. Медичні стандарти зазвичай рекомендують вимірювати температуру на лобі, скроневій області або за вухом, де мінімальний вплив перешкод і стабільні умови для реєстрації інфрачервоного випромінювання.

Загалом, для досягнення високої точності і достовірності безконтактного вимірювання температури в медичних умовах необхідно комплексно враховувати як фізичні характеристики пацієнта, так і зовнішні умови, а також технічні параметри і правильне використання приладу. Тільки такий системний підхід дозволяє отримувати точні результати, що є критично важливим для діагностики захворювань, моніторингу клінічного стану і контролю ефективності лікування, особливо у випадках, коли зміни температури є раннім маркером патологічних процесів.

1.7 Висновки до розділу 1

Температура як фізична величина відображає середню кінетичну енергію частинок у речовині, що є фундаментальною характеристикою теплового стану об'єкта. Розуміння фізичної природи температури та принципів її вимірювання є ключовим для розробки точних і надійних методів контролю теплових процесів. Одним із основних способів визначення температури без фізичного контакту є вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке випромінюють всі тіла залежно від своєї температури. Спектральний розподіл цього випромінювання строго пов'язаний із температурою об'єкта, що дозволяє отримувати достовірні значення температури на відстані за допомогою спеціалізованих сенсорів. Врахування фізичних характеристик об'єктів, особливо біологічних тканин, які мають специфічні емісивні властивості і спектри випромінювання, є надзвичайно важливим для застосувань у медичній діагностиці, де точність і безпечність вимірювань мають першочергове значення. Крім того, теоретично обґрунтовані методи і принципи вимірювання температури закладають основу для подальшого удосконалення технологій, розробки нових приладів і алгоритмів обробки даних, що дозволяє підвищувати ефективність і точність безконтактних вимірювань. Враховуючи різноманітність факторів, які можуть впливати на результати вимірювань — від фізичних властивостей матеріалів

до умов навколишнього середовища — системний підхід до вивчення теоретичних засад вимірювання температури є необхідним для створення надійних і адаптивних систем контролю. Таким чином, сформовані теоретичні знання слугують міцним фундаментом для подальших практичних розробок і впровадження сучасних безконтактних технологій у сфері контролю температури.

2. ОГЛЯД ПРИЛАДІВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1 Класифікація безконтактних приладів для вимірювання температури

Безконтактні прилади для вимірювання температури є важливою складовою сучасних систем контролю в різних галузях, зокрема в медицині, промисловості, екології та енергетиці. Класифікація цих приладів базується на кількох ключових ознаках, які визначають їхню функціональність, точність, область застосування та принцип дії. Розглянемо основні критерії класифікації детальніше.

Перш за все, за фізичним принципом дії всі безконтактні термометри можна поділити на кілька типів залежно від того, яке саме випромінювання вони вимірюють. Найпоширенішими є інфрачервоні (ІЧ) термометри, які реєструють інфрачервоне теплове випромінювання, що випромінюють тіла у залежності від їхньої температури. Такі прилади працюють у середньо- та далекому інфрачервоному спектрі (приблизно від 2 до 14 мкм), що дозволяє визначати температуру навіть у темряві та за наявності пилу або диму. Серед ІЧ-термометрів виділяють пірометри з одноканальними детекторами, які фіксують інтенсивність випромінювання на одній довжині хвилі, та багатоканальні (спектральні) пірометри, які аналізують інтенсивність на кількох довжинах хвиль. Спектральні пірометри дають можливість компенсувати вплив емісивності поверхні та інших факторів, що підвищує точність вимірювань. Окрім цього, існують оптичні безконтактні термометри, які використовують випромінювання в інших спектрах — видимому чи ультрафіолетовому. Проте через більшу складність реєстрації таких спектрів і підвищену чутливість до зовнішніх перешкод вони застосовуються значно рідше.

Другим важливим критерієм класифікації є конструктивне виконання пристрою. За цим параметром виділяють стаціонарні прилади, призначені для

довготривалого використання у лабораторіях, виробничих цехах або медичних закладах, і портативні або ручні термометри, які забезпечують оперативне вимірювання температури в польових умовах або у клініках при огляді пацієнтів. Портативні ІЧ-термометри для медичного застосування мають особливі вимоги до безпеки, ергономіки та швидкості реакції, оскільки часто використовуються для скринінгу великої кількості людей, наприклад, під час епідемій.

Третім важливим фактором є тип сенсорного елемента, який визначає діапазон вимірювання, чутливість та стабільність показників приладу. Найпоширеніші датчики — це термопари, піросенсиори, болометри, фотодіоди та квантові детектори. Термопари та піросенсиори зазвичай застосовуються в бюджетних пристроях, забезпечуючи базову точність. Болометри відрізняються високою чутливістю і застосовуються у приладах для наукових досліджень. Фотодіодні та квантові детектори характеризуються швидкою відповіддю і високою роздільною здатністю, що важливо для медичних приладів, де точність і швидкість вимірювання мають вирішальне значення.

Ще один аспект класифікації — спосіб обробки та інтерпретації сигналу. Деякі прилади використовують прості аналогові схеми, які перетворюють інтенсивність випромінювання у температурне значення, інші — цифрові системи з алгоритмами компенсації впливу навколишнього середовища, емісивності об'єкта та динамічного калібрування. Сучасні медичні пристрої часто оснащені мікропроцесорами, що дозволяє не лише отримувати більш точні показники, а й інтегруватися у складні системи моніторингу та зберігання даних.

Крім того, безконтактні термометри можна класифікувати за типом застосування. Медичні пристрої, як правило, орієнтовані на вимірювання температури тіла людини, де важлива не тільки точність, а й швидкість, а також безпека користування. Промислові безконтактні термометри використовують для контролю технологічних процесів, де температура може бути значно вищою і варіюватися в широкому діапазоні. В аграрній та

екологічній сферах прилади застосовують для моніторингу температури рослин, ґрунту та повітря[8].

Отже, класифікація безконтактних приладів для вимірювання температури базується на комплексному аналізі фізичних принципів дії, типів сенсорів, конструктивних особливостей, методів обробки сигналу та сфери застосування. Такий підхід дозволяє обирати оптимальні рішення, враховуючи специфічні вимоги до точності, швидкості та безпеки вимірювань, що особливо актуально для медичних застосувань, де необхідно забезпечити надійний температурний контроль без дискомфорту для пацієнта.

2.2 Принципи роботи інфрачервоних термометрів

Інфрачервоні термометри використовують фундаментальну властивість усіх тіл, що мають температуру вище 0 К, — випромінювати електромагнітну енергію в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектра. Це випромінювання зумовлене тепловим рухом атомів і молекул у тілі, і його інтенсивність прямо залежить від температури поверхні об'єкта. Основний принцип дії ІЧ-термометра полягає у виявленні цього випромінювання, фіксації його за допомогою спеціального сенсора і подальшому обчисленні температури на основі відомих фізичних залежностей.

Основними законами, які лежать в основі перетворення ІЧ-випромінювання в температурне значення, є закон Планка, що описує спектральний розподіл випромінювання абсолютно чорного тіла, та закон Стефана–Больцмана, який визначає повну потужність випромінювання як функцію температури. У практичному застосуванні ці закони адаптуються для реальних тіл, що не є ідеально чорними. Для цього вводиться коефіцієнт випромінювальної здатності (ϵ), який для людської шкіри та більшості біологічних тканин дуже високий (приблизно 0,97–0,99), що дозволяє проводити точні вимірювання температури без складної компенсації.

У типових інфрачервоних термометрах використовується оптична система (лінзи або дзеркала), яка фокусує ІЧ-випромінювання з певної зони об'єкта на сенсор. Це може бути термопара, термопіла, болометр, р–п перехід або фотодетектор на основі матеріалів з вузькою забороненою зоною (наприклад, телурид ртуті-кадмію — HgCdTe , або індій-антимонід — InSb), здатних ефективно поглинати ІЧ-випромінювання. У термоелектричних сенсорах, таких як термопіли, енергія ІЧ-випромінювання перетворюється у різницю температур між двома сторонами термоелектричного елемента, в результаті чого утворюється електрична напруга. У фотодетекторах зміна інтенсивності ІЧ-випромінювання спричиняє зміну струму або напруги, яку потім підсилюють і аналізують.

Електронний блок термометра перетворює аналоговий сигнал з сенсора на цифровий, проводить обробку з урахуванням поправок — таких як емісійна здатність поверхні, температура навколишнього середовища, атмосферні умови, можливі втрати в оптиці. У медичних приладах для підвищення точності використовуються попередньо калібровані бази даних, температурні еталони, а також алгоритми компенсації для різних ділянок шкіри або тканини. Наприклад, при вимірюванні температури на лобі, вушній раковині чи зап'ясті використовуються різні коефіцієнти поправки, оскільки ці зони мають різні судинні особливості та товщину підшкірного шару.

Особливо важливим є врахування оптичного поля зору пристрою. Якщо інфрачервоний термометр має вузький кут огляду, він фіксує температуру точково, тоді як моделі з ширшим кутом дають усереднене значення. У разі, якщо в полі зору пристрою знаходиться холодніший або тепліший об'єкт, що не є частиною досліджуваної поверхні, можливі суттєві похибки. Тому точність вимірювання суттєво залежить від правильного розміщення пристрою, стабільності навколишнього середовища, часу акліматизації пристрою перед вимірюванням, а також якості калібрування[9].

Завдяки швидкому відгуку, відсутності фізичного контакту з тілом, можливості проводити вимірювання на відстані й без ризику контамінації,

інфрачервоні термометри стали особливо затребуваними в клінічній практиці, а також у санітарно-епідеміологічному контролі. Їх принцип дії базується на точних фізичних закономірностях, реалізованих через сучасні сенсорні технології та високоточну електроніку. У результаті навіть компактні портативні пристрої забезпечують достатню точність для діагностичних або скринінгових задач, особливо за умов правильного застосування та регулярного калібрування.

2.3 Конструктивні особливості сучасних інфрачервоних температурних сенсорів

Сучасні інфрачервоні (ІЧ) температурні сенсори є високотехнологічними пристроями, що поєднують в собі досягнення мікроелектроніки, матеріалознавства, оптики та теплової фізики. Основне призначення таких сенсорів — реєстрація інтенсивності ІЧ-випромінювання об'єкта, подальше його перетворення в електричний сигнал і перерахунок цього сигналу у значення температури. Відповідно до цього, типова конструкція ІЧ-сенсора включає кілька ключових компонентів: оптичну систему, фільтрувальний модуль, чутливий елемент (детектор), теплову підкладку (якщо необхідно), підсилювач сигналу та електронну схему обробки.

Оптична система відповідає за збирання і фокусування ІЧ-випромінювання з поверхні об'єкта на активну область детектора. Зазвичай використовується система лінз або дзеркал (або їх комбінація), виготовлених із матеріалів, прозорих в ІЧ-діапазоні, таких як германій (Ge), кремній (Si), цинк-селенід (ZnSe) або спеціальні пластикові композити. Геометрія оптики визначає поле зору сенсора, роздільну здатність і точність локалізації джерела випромінювання. Високоточні прилади можуть мати додаткову систему діафрагм або об'єктивів, що формують вузьке поле зору для точкового вимірювання.

Після проходження крізь оптичну систему, випромінювання зазвичай проходить спектральний фільтр, який пропускає лише певний діапазон довжин хвиль, наприклад 8–14 мкм для медичних термометрів. Це зменшує вплив паразитних джерел, атмосферних шумів або некорисного спектру. Фільтри можуть бути діелектричними або інтерференційними й мати структуру багат шарових покриттів, що нанесені на кварцове або сапфірове скло.

Чутливий елемент — це центральна частина ІЧ-сенсора, яка безпосередньо перетворює теплове або фотонне ІЧ-випромінювання на електричний сигнал. Залежно від принципу дії, сенсори поділяють на два основні типи: теплові (термопіли, болометри, піросенсори) та квантові (фотодетектори).

У теплових сенсорах випромінювання поглинається матеріалом чутливого шару, викликаючи його нагрів, і створюється температурний градієнт відносно контрольної (референтної) зони. Наприклад, у термопілі використовується термоелектричний ефект: серія термопар із матеріалів з різною термоЕРС (наприклад, Bi/Sb, Ni/Cr) з'єднані послідовно, що дозволяє збільшити вихідну напругу. Елементи термопари формуються мікролітографією на підкладці з Si або поліімідних плівок, поверх яких нанесено поглинальний шар, часто на основі оксиду чорного хрому або вуглецю.

У болометрах використовується резистивний шар, опір якого змінюється в залежності від температури. Найчастіше використовують матеріали типу ванадієвого оксиду (VO_x), аморфного кремнію або графену. Ці елементи встановлюють на мембрані, підвішеній над порожниною для зменшення теплопровідності і зменшення теплової інерції. Зміна температури викликає зміну опору, яка фіксується електронною схемою.

Квантові сенсори базуються на фотоефекті або фотопровідності. Наприклад, HgCdTe (меркурій-кадмій-телур) або InSb (індій-антимонід) є вузькозонними напівпровідниками, чутливими до ІЧ-випромінювання. Ці

сенсори мають високу швидкість реакції та чутливість, але потребують охолодження до кріогенних температур (зазвичай до 77 K з використанням рідкого азоту або елементів Пельтьє), що обмежує їх використання в портативних медичних приладах.

Чутливий елемент звичайно монтується на теплоізований підкладці або мікромеханічній структурі (наприклад, підвісна мембрана з Si_3N_4 або SiO_2), що забезпечує мінімальні теплові втрати і стабільний температурний режим. Така структура часто створюється з використанням технологій MEMS (мікроелектромеханічних систем), що дозволяє досягти високої щільності інтеграції елементів та мініатюризації пристроїв.

Електронний блок обробки сигналу включає підсилювачі, аналого-цифрові перетворювачі, мікроконтролери та цифрові інтерфейси. Він забезпечує підсилення слабого сигналу, фільтрацію шумів, лінійні або логарифмічні перетворення, температурну компенсацію (за допомогою інтегрованих термодатчиків), а також цифровий вихід (наприклад, I²C, SPI або USB). Деякі сенсори мають вбудовану EEPROM-пам'ять для зберігання калібрувальних коефіцієнтів.

Для медичних застосувань сенсори часто розміщуються в герметичних корпусах, стійких до дезінфекції та дії біологічних рідин. Корпус забезпечує захист від механічних пошкоджень, пилу, вологості та стабілізує температурний режим. Зазвичай застосовуються металеві або полімерні корпуси з ІЧ-прозорим віконцем, яке додатково має антиблікове покриття.

Існують також матричні ІЧ-сенсори, які складаються з масиву окремих елементів (наприклад, 32×32 або 64×64 пікселі), що дозволяють формувати тепловізійну карту температури в реальному часі. Такі сенсори активно застосовуються в системах моніторингу пацієнтів, неінвазивної діагностики та скринінгу інфекційних захворювань (наприклад, при виявленні лихоманки)[10].

Таким чином, конструкція сучасного інфрачервоного сенсора є результатом складної інженерної розробки, де кожен компонент — від

мікроскопічної термопари до цифрового контролера — відіграє критичну роль у забезпеченні високої точності, швидкості та надійності вимірювання температури.

2.4 Технічні характеристики та діапазони вимірювань безконтактних приладів

Безконтактні прилади для вимірювання температури, зокрема інфрачервоні термометри, стали незамінними інструментами у сфері медицини завдяки своїй здатності швидко, точно й безпечно визначати температурні показники без фізичного контакту з тілом пацієнта. Їхні технічні характеристики безпосередньо впливають на діагностичну цінність отриманих результатів та визначають, наскільки ефективно прилад може бути використаний у клінічній практиці, скринінгових заходах, реанімаційних відділеннях, телемедичних рішеннях тощо.

Температурний діапазон вимірювань у медичних ІЧ-термометрах адаптовано під фізіологічно обґрунтовані межі — зазвичай від 32 до 42 °С. Цей інтервал є оптимальним для виявлення гіпотермії, нормотермії, субфебрилітету та фебрильних станів. У деяких приладах передбачено розширений режим — від 0 до 50 °С — для можливості використання в умовах гіпотермії, шоківних станів або для оцінки температури шкіри новонароджених. Для ветеринарних або неінвазивних досліджень також можуть бути розширені діапазони, але при цьому знижується точність приладу в стандартному діапазоні температур тіла людини.

Спектральна чутливість сенсорів є важливою характеристикою, що визначає, на яких довжинах хвиль відбувається детекція теплового випромінювання. Більшість медичних термометрів працюють у діапазоні 8–14 мкм, який відповідає максимуму інфрачервоного випромінювання тіла людини при температурі ~36 °С. Такий вибір спектра обумовлений також тим, що цей інтервал є мінімально чутливим до впливу водяної пари в повітрі, що

знижує похибки при вимірюваннях у вологому середовищі (наприклад, у ротовій порожнині або біля слизових оболонок).

Час відгуку — це період, за який прилад фіксує зміну температури і видає стабільне вимірювальне значення. У клінічних умовах, особливо під час масового температурного скринінгу (наприклад, у розпал епідемій), важливою є швидкість роботи пристрою. У сучасних пристроях цей параметр становить близько 0,3–1 секунди, завдяки високошвидкісним мікропроцесорам, які аналізують сигнал та проводять температурну корекцію.

Точність вимірювання — критично важлива характеристика, яка визначає надійність отриманих значень. У стандартних умовах допускається похибка не більше $\pm 0,2$ – $0,3$ °C. Для забезпечення такої точності виробники використовують заводське калібрування приладів за допомогою еталонного джерела випромінювання (чорного тіла) та програмне коригування впливу емісійної здатності шкіри. У приладах преміум-класу передбачена можливість самокалібрування, що гарантує стабільну роботу навіть після тривалого використання.

Просторове розрізнення, або співвідношення "відстань до плями" (distance-to-spot ratio, D:S), впливає на точність прицілювання при вимірюванні температури на обмеженій ділянці шкіри. У медичних приладах співвідношення зазвичай становить 1:1 або 2:1, що є достатнім для коротких дистанцій вимірювання (до 5 см). У професійних клінічних сканерах цей параметр може досягати 5:1 або 10:1, дозволяючи більш точно оцінювати температуру на локалізованих ділянках шкіри навіть на відстані 10–20 см.

Роздільна здатність сенсора — це найменша зміна температури, яку здатен зареєструвати прилад. У більшості сучасних моделей цей показник становить 0,01–0,1 °C. Висока роздільна здатність є особливо важливою при моніторингу температури в пацієнтів із лихоманкою, коли необхідно простежити навіть незначне зниження температури під дією жарознижувальних засобів.

Стабільність та повторюваність вимірювань характеризують здатність пристрою видавати однакові результати за однакових умов. Для медичних ІЧ-термометрів цей параметр є критично важливим, особливо в контексті моніторингу хронічно хворих або новонароджених. Типова стабільність повинна бути в межах $\pm 0,1$ °C між кількома послідовними вимірюваннями.

Інтерфейси передачі даних стають все більш актуальними у зв'язку з поширенням цифрових медичних систем. Сучасні моделі можуть мати Bluetooth, Wi-Fi або USB-з'єднання для передачі даних до смартфонів, комп'ютерів або електронних карт пацієнтів. Це дозволяє інтегрувати результати в загальну клінічну інформаційну систему (CIS) без ручного введення[11].

Функції самодіагностики, компенсації температури навколишнього середовища, сигналізації про неправильне прицілювання чи надто велику дистанцію — це додаткові технічні особливості, які підвищують надійність застосування безконтактних пристроїв у медичних умовах.

Таким чином, технічні характеристики безконтактних приладів для вимірювання температури тіла безпосередньо визначають їхню клінічну ефективність і мають бути підібрані з урахуванням умов використання, віку пацієнтів, частоти вимірювань і потреб у цифровій інтеграції. Надійна конструкція, висока точність, швидкий відгук та можливість адаптації до цифрового середовища роблять такі пристрої ключовими інструментами сучасної доказової медицини.

2.5 Огляд ринку безконтактних температурних приладів

Безконтактні термометри, особливо інфрачервоні моделі, вже давно зайняли важливе місце в медичній практиці завдяки своїй здатності швидко і точно визначати температуру без фізичного контакту з пацієнтом. Сучасний ринок цих приладів постійно розвивається, що зумовлено як технологічним прогресом, так і зростаючими вимогами користувачів щодо зручності,

точності та безпеки вимірювань. Однією з ключових тенденцій останніх років є суттєве покращення оптичних систем збору інфрачервоного випромінювання. Це дозволяє підвищити чутливість і точність сенсорів, що особливо важливо для медичних застосувань, де навіть незначні похибки можуть впливати на діагностику. Завдяки вдосконаленню матеріалів і технологій виготовлення детекторів відбувається перехід від простих монохромних датчиків до більш складних багатоспектральних систем, які здатні більш точно аналізувати спектральний склад випромінювання біологічних об'єктів. Такі датчики допомагають зменшити вплив зовнішніх факторів, наприклад, освітленості, вологості чи коливань температури навколишнього середовища, що підвищує стабільність і повторюваність результатів.

Інноваційний розвиток безконтактних термометрів тісно пов'язаний із впровадженням штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання, які дозволяють не лише автоматизувати обробку даних, а й оптимізувати процес вимірювання. Сучасні пристрої можуть самостійно визначати найкращу точку на поверхні тіла для зняття температури, а також аналізувати динаміку змін температури в режимі реального часу, що відкриває нові можливості для моніторингу стану пацієнтів. Безконтактні термометри із вбудованими Bluetooth та Wi-Fi модулями забезпечують зручну передачу інформації до медичних інформаційних систем, що полегшує централізований контроль та аналіз великої кількості даних. Це особливо важливо в умовах сучасних медичних установ, де швидкість і точність обробки інформації мають критичне значення для прийняття рішень. Окрім того, на ринку з'являються мультифункціональні пристрої, які поряд з вимірюванням температури можуть визначати й інші фізіологічні параметри, такі як частота серцевих скорочень або рівень кисню в крові, що робить їх більш універсальними і цінними для комплексного контролю здоров'я[12].

Серед провідних виробників безконтактних термометрів варто виділити компанії, які на ринку вже багато років, такі як Braun, Fluke, Omron, Exergen

та Medisana. Ці компанії випускають прилади, що відповідають різним потребам – від домашнього використання до професійної медичної діагностики. Вони постійно вдосконалюють технології, впроваджують нові функції і гарантують високу якість і надійність своїх продуктів. Особлива увага приділяється адаптації пристроїв під різні типи шкіри, умови освітлення та навколишнього середовища, що дозволяє досягти максимальної точності вимірювань у широкому спектрі клінічних ситуацій. Зважаючи на підвищені вимоги до гігієнічності в медичній сфері, виробники також впроваджують конструктивні рішення, що мінімізують ризик забруднення і забезпечують легкість у догляді за приладом[13].

Перспективи розвитку ринку безконтактних термометрів пов'язані з подальшим вдосконаленням сенсорної бази, застосуванням новітніх матеріалів та технологій, таких як наноматеріали, які дозволяють значно підвищити чутливість і знизити розмір приладів. Важливою тенденцією є інтеграція термометрів у телемедичні системи, що відкриває можливості для дистанційного моніторингу пацієнтів та оперативного реагування медичного персоналу на зміни стану здоров'я. Підвищується увага і до безпеки та комфорту пацієнтів, що стимулює розробку більш ергономічних і зручних у використанні пристроїв. Враховуючи глобальні виклики, пов'язані з пандеміями та іншими масовими захворюваннями, роль безконтактних термометрів у системах швидкої діагностики і контролю здоров'я стає ще більш важливою, що безумовно впливає на подальший розвиток і вдосконалення цих технологій[14].

Таким чином, сучасний ринок безконтактних термометрів є динамічним і технологічно інтенсивним сегментом, де постійно впроваджуються інновації, що підвищують точність, швидкість і зручність вимірювань. Це робить їх незамінним інструментом у сучасній медичній практиці і гарантує подальший розвиток відповідних технологій у майбутньому.

2.6 Аналіз переваг і обмежень існуючих безконтактних пристроїв

Сучасні безконтактні пристрої для вимірювання температури широко застосовуються в медичній практиці завдяки своїм численним перевагам, які роблять їх незамінними в багатьох клінічних ситуаціях. Однією з ключових переваг є можливість проведення швидких і безпечних вимірювань температури без фізичного контакту з пацієнтом. Це особливо актуально в умовах епідемій інфекційних захворювань, коли контакт з пацієнтом може призвести до передачі інфекції. Безконтактні термометри дозволяють мінімізувати цей ризик, захищаючи як медичний персонал, так і пацієнтів. Крім того, вони значно скорочують час проведення обстеження, що є важливим у великих медичних установах або при масових скринінгах населення. Це дозволяє оперативно виявляти підвищену температуру, що може бути симптомом хвороби, і своєчасно вживати необхідних заходів. Важливо також зазначити зручність і комфорт для пацієнта, особливо для дітей, пацієнтів із травмами чи вразливим станом, які можуть відчувати дискомфорт під час контактного вимірювання.

Однак, незважаючи на численні переваги, безконтактні термометри мають і певні обмеження, які впливають на їх точність і надійність. Однією з головних проблем є вплив зовнішніх факторів на результати вимірювань. Температура навколишнього середовища, вологість, потік повітря, забруднення на поверхні шкіри — усе це може спричиняти значні відхилення у показниках. Наприклад, при холодній погоді шкіра може охолоджуватися, і безконтактний термометр покаже занижене значення температури тіла. Аналогічно, піт або забруднення можуть змінювати інфрачервоне випромінювання, що поглинається сенсором. Тому для забезпечення коректності вимірювань важливо дотримуватися певних умов експлуатації пристрою та періодично його калібрувати. Крім того, варто враховувати, що безконтактні пристрої зазвичай вимірюють температуру поверхні шкіри, яка може відрізнятися від внутрішньої температури організму, особливо при

порушеннях кровообігу, запальних процесах або інших патологіях. Це знижує точність діагностики в окремих випадках і потребує застосування коригуючих алгоритмів, які можуть враховувати ці фактори.

Ще одним обмеженням є технічна складність підтримки стабільності роботи сенсорів протягом тривалого часу. З часом інфрачервоні сенсори можуть деградувати, що викликає зміни їх чутливості і призводить до зниження точності. Професійні прилади потребують регулярного технічного обслуговування, очищення і перенастроювання, що збільшує експлуатаційні витрати. Крім того, існує проблема стандартизації вимірювань, адже різні виробники застосовують різні методи калібрування і обробки даних, що ускладнює порівняння результатів і уніфікацію норм. Медичні стандарти та протоколи для використання безконтактних термометрів все ще розвиваються, і в деяких випадках застосування таких пристроїв обмежується або потребує додаткового контролю[7].

Таким чином, аналіз існуючих безконтактних термометрів демонструє необхідність подальшого удосконалення технологій. Важливо працювати над підвищенням точності вимірювань за рахунок розробки більш чутливих і стабільних сенсорів, удосконалення алгоритмів калібрування та обробки сигналу, а також впровадження адаптивних систем, здатних враховувати зовнішні умови і особливості конкретного пацієнта. Перспективним напрямком є інтеграція штучного інтелекту для аналізу температурних даних і корекції похибок, що відкриває нові можливості для підвищення надійності та універсальності медичних безконтактних термометрів. Тільки за умови комплексного підходу, що поєднує точну фізичну модель, технологічні інновації і клінічні стандарти, можна досягти максимальної ефективності цих пристроїв у медичній практиці.

2.7 Висновки до розділу 2

Сучасні безконтактні термометри, зокрема інфрачервоні сенсори, забезпечують швидке, безпечне та зручне визначення температури, що робить їх особливо цінними в медичних застосуваннях. Принципи роботи таких приладів базуються на реєстрації інфрачервоного випромінювання, яке є прямим відображенням температури поверхні об'єкта. Конструкція сенсорів постійно вдосконалюється для підвищення чутливості та стабільності.

Водночас огляд показав, що точність і надійність безконтактних вимірювань значною мірою залежать від правильності калібрування та корекції приладів, а також від умов експлуатації. Вплив зовнішніх факторів, таких як температура навколишнього середовища, вологість і стан шкіри пацієнта, може істотно спотворювати результати, що підкреслює необхідність врахування цих параметрів при клінічному використанні. Крім того, існують технологічні обмеження, пов'язані з деградацією сенсорів у процесі тривалої експлуатації та розбіжностями в стандартах калібрування різних виробників.

Аналіз сучасного ринку свідчить про активний розвиток інноваційних технологій, серед яких покращені матеріали сенсорів, застосування цифрової обробки сигналів, впровадження адаптивних алгоритмів корекції та використання штучного інтелекту для підвищення точності. Незважаючи на це, продовжуються роботи над уніфікацією стандартів і методів калібрування, що є важливим для забезпечення порівнянності і достовірності результатів у медичній практиці.

Таким чином, сучасні безконтактні прилади для вимірювання температури представляють собою складні технічні системи, здатні забезпечити високий рівень ефективності за умови дотримання правильних методик експлуатації та регулярного технічного обслуговування. Подальший розвиток технологій та впровадження новітніх підходів у конструкцію і обробку даних відкривають перспективи для значного покращення якості безконтактних температурних вимірювань, особливо у сфері медицини.

3. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

3.1 Обґрунтування вибору безконтактного термометра радіаційного типу

Сучасні радіаційні пірометри сьогодні широко застосовуються у різних галузях, як у промисловості, так і в повсякденному житті, значно полегшуючи роботу багатьох фахівців. Популярність цих приладів зумовлена низкою переваг. Основною перевагою радіаційних пірометрів є їх відносно проста конструкція, що робить їх економічно вигідними та більш компактними у порівнянні з іншими типами пірометрів. Завдяки простоті будови та обмеженій кількості компонентів, термін служби таких приладів значно більший, що знижує ймовірність поломок.

Малі габарити пристрою дозволяють зручно носити його в кишені або спеціальній сумці та швидко використовувати за потреби. Водночас, при необхідності безперервного вимірювання температури, пірометр можна зафіксувати на штативі чи підставці і використовувати як стаціонарний прилад. Низька собівартість виробництва, проста конструкція, а також легка доступність комплектуючих сприяють тому, що виробники випускають ці пристрої у великій кількості за прийнятною ціною.

Особливою перевагою є можливість вимірювати від'ємні температури до -50°C , що стало можливим завдяки здатності охоплювати широкий спектр теплового випромінювання, включно з частиною видимого світла, а не лише інфрачервоним діапазоном. Радіаційні пірометри ефективно працюють при вимірюванні температур нижче $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$, а висока роздільна здатність дозволяє здійснювати заміри в важкодоступних місцях.

Разом із численними перевагами, прилад має й деякі недоліки. Точність вимірювання залежить від випромінювальної здатності нагрітих поверхонь, тому температура однаково нагрітих матових і глянцевиx об'єктів може

відрізнятися в показах пірометра. Це пояснюється тим, що різні матеріали при однаковій температурі та умовах випромінюють різну кількість теплової енергії. Додатково на точність впливають фізичний стан об'єкта, особливості структури його поверхні, наявність захисних покриттів або природних утворень. Щоб зменшити ці похибки, використовують спеціальні регулятори, які коригують результати та підвищують точність вимірювань. Також важливу роль відіграє відстань між пірометром і нагрітим тілом: чим більша відстань, тим вища ймовірність похибок. Для подолання цієї проблеми пірометри оснащують оптикою з високим збільшенням.

Аналіз конструкції та принципу роботи, проведений у попередніх розділах, а також оцінка сильних і слабких сторін різних приладів, дозволили зробити вибір на користь радіаційного пірометра. Незважаючи на існуючі недоліки, численні переваги роблять цей тип пірометрів найбільш популярним і поширеним у порівнянні з іншими. Простота конструкції, компактність, доступність комплектуючих, великий попит користувачів, а також можливість інтеграції з планшетом чи смартфоном через мобільний додаток стали ключовими факторами, що зумовили вибір цього пристрою для розробки в рамках роботи.

3.2 Моделювання оптичної схеми пристрою для безконтактного вимірювання температури

Перед початком безпосереднього моделювання оптичної системи важливо зробити правильний вибір матеріалу для виготовлення лінзи, адже цей параметр є одним із ключових факторів, що суттєво впливають на загальну ефективність і якість роботи пристрою. Матеріал лінзи визначає, наскільки добре буде пропускатися теплове випромінювання, що є основою для точного безконтактного вимірювання температури. Тому при виборі потрібно ретельно враховувати пропускну здатність матеріалу в потрібному діапазоні довжин хвиль, що включає як видимий спектр, так і інфрачервоний.

Для проєктування цього приладу було обрано датчик MLX90614, який спеціалізується на роботі у вузькому діапазоні довжин хвиль від 5,5 до 14 мкм, що відповідає інфрачервоному спектру, який найбільш інформативний для вимірювання теплового випромінювання нагрітих об'єктів. Враховуючи цей специфічний спектральний діапазон, для виготовлення лінз пірометра підходять матеріали, які мають відповідну пропускну здатність: германій, що пропускає хвилі в діапазоні 2–15 мкм; цинк сульфід з діапазоном пропускання 1–14 мкм; а також полімер Poly IR, який має пропускну здатність в межах 8–14 мкм. Ці матеріали забезпечують оптимальні умови для проходження теплового випромінювання без значних втрат і спотворень.

Найбільш поширеним і практичним вибором серед виробників пірометрів є використання матеріалу Poly IR, оскільки він дозволяє створювати прилади з більш простою конструкцією, що робить їх компактними, легкими та економічними у виробництві, при цьому не втрачаючи точності вимірювань. Крім того, полімерні лінзи мають переваги у вигляді підвищеної механічної міцності та більшої стійкості до пошкоджень, зокрема, вони краще витримують падіння, що особливо важливо для портативних пристроїв.

З огляду на всі ці характеристики, було прийнято рішення застосувати у проєкті френелеві лінзи, які відомі своєю здатністю ефективно концентрувати теплове випромінювання і направляти його безпосередньо на датчик. Френелеві лінзи відрізняються компактністю, невеликою вагою і доступною вартістю, а також чудовими оптичними властивостями, що робить їх дуже популярними у сучасних безконтактних термометрах. Конструктивно такі лінзи складаються з ряду тонких, концентричних кілець, розташованих поруч одне з одним, що дозволяє суттєво зменшити товщину лінзи при збереженні її фокусувальних властивостей. Загальний вигляд та конструкція френелевих лінз зображені на рис. 3.1.

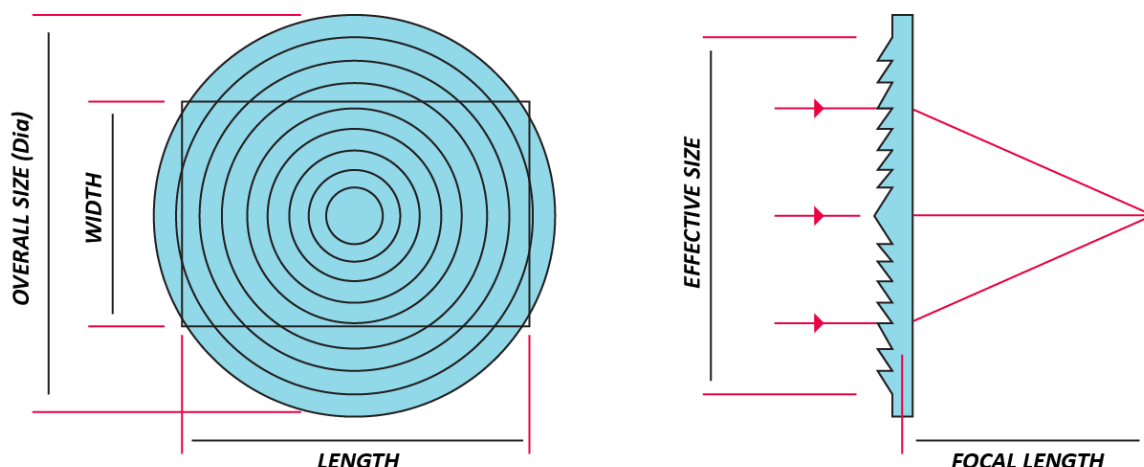


Рисунок 3.1 – Френелева лінза[15]

Лінза Френеля має характерну ступінчасту форму, що суттєво відрізняє її від традиційних гладких сферичних лінз. Кожен окремий ступінь такої лінзи можна розглядати як маленьку індивідуальну лінзу, яка спільно з іншими ступенями виконує функцію фокусування світла. Завдяки цій унікальній конструкції лінза Френеля здатна збирати і концентрувати світлове випромінювання аналогічно звичайній сферичній лінзі, але при цьому має значно менші габарити та вагу. Це робить її особливо привабливою для використання у компактних оптичних пристроях, де важливі розміри і мобільність.

Для реалізації запроєктованої оптичної системи було визначено низку конструктивних параметрів, які забезпечують необхідну ефективність та точність роботи. Діаметр лінзи становить 16 мм, що є достатнім для прийому та фокусування потрібного обсягу теплового випромінювання. Товщина лінзи складає всього 1 мм, що підкреслює її компактність і легкість. Такі параметри дозволяють оптимально інтегрувати лінзу у конструкцію безконтактного термометра, не збільшуючи його габарити.

Лінза концентрує теплове випромінювання, що надходить від нагрітого об'єкта, безпосередньо на приймач випромінювання, розташований на відстані 17,5 мм від самої лінзи. Діаметр приймача дорівнює 4 мм, що узгоджується з оптичними характеристиками системи і забезпечує високий

рівень чутливості приладу. Отримана модель оптичної системи, побудована на основі розрахунків і оптимізації параметрів, представлена на рисунку 3.2. Вона демонструє збалансованість між розмірами, оптичними властивостями та функціональністю, що є важливим кроком у розробці точного і надійного пристрою для безконтактного вимірювання температури.

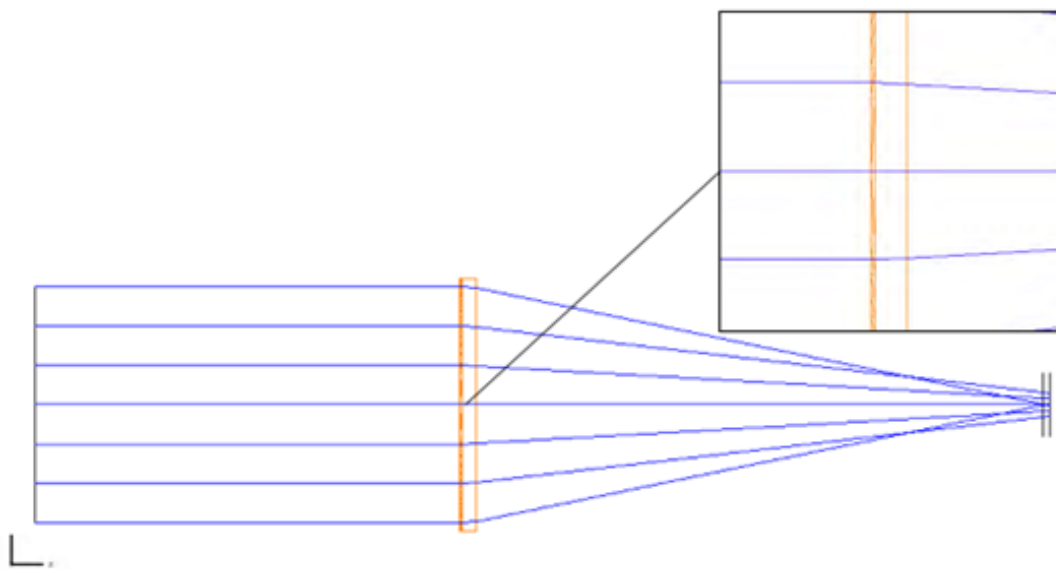


Рисунок 3.2 – Модель оптичної системи пірометра

Оптична роздільна здатність об'єктива термометра становить 50:1, що є важливим показником, який визначає точність і здатність пристрою розрізняти деталі об'єкта на певній відстані. Це означає, що пірометр, розташований на відстані 10 метрів від об'єкта, зможе досить точно виміряти температуру об'єкта, розмір якого становить приблизно 20 см. Такий рівень роздільної здатності є оптимальним для багатьох практичних застосувань, де важливо отримувати достовірні температурні показники, не наближаючись безпосередньо до об'єкта.

Діаметр апертурної діафрагми, що дорівнює 15 мм, відіграє ключову роль у формуванні оптичного променя та визначенні кількості світла, яке потрапляє на приймач. Це дозволяє підтримувати баланс між світлосилою системи і глибиною різкості, що в кінцевому результаті впливає на якість отриманих даних. Робоча температура в 20°C свідчить про умови, при яких

здійснювалися основні параметричні вимірювання, що є типовим показником для більшості лабораторних і промислових середовищ.

Ефективна фокусна відстань системи, яка становить 0,063 мм, визначає точку, в якій падаючі промені збираються в одну точку, забезпечуючи чітке фокусування теплового випромінювання на приймачі. Задня фокусна відстань 7,74 мм характеризує відстань від останньої оптичної поверхні лінзи до фокальної площини, що також має важливе значення для правильної інтеграції оптичної системи в корпус приладу.

Загальні габарити системи — 44,5 мм — є компактними, що робить пристрій зручним для використання в різноманітних сферах, зокрема у випадках, де простір обмежений або потрібна мобільність приладу. Параксіальний розмір зображення, що дорівнює 0,19 мм, вказує на максимальну точність формування зображення на приймачі без спотворень, що є критично важливим для забезпечення достовірності температурних вимірювань.

Розрахунки оптичної системи виконувалися для довжин хвиль у діапазоні 8–14 мкм, що відповідає інфрачервоному спектру, в якому пірометр ефективно реєструє теплове випромінювання. Це дозволяє гарантувати високий рівень чутливості та точності пристрою при безконтактному вимірюванні температури.

Отримані результати підтверджують достатню ефективність розробленої оптичної системи, що є важливою передумовою для подальшої роботи над створенням високоточних і надійних приладів безконтактного вимірювання температури, які можуть застосовуватися як у промисловості, так і в медичних або побутових цілях.

3.3 Схема роботи пристрою для безконтактного вимірювання температури

Процеси, що відбуваються в окремих функціональних вузлах приладу, детально відображені на функціональних схемах, які є важливою складовою частиною проєктної документації. Ці схеми дозволяють наочно продемонструвати послідовність роботи компонентів, взаємодію між ними та загальну логіку функціонування приладу. Функціональна схема пристрою для безконтактного вимірювання температури, наведена на рисунку 3.3, дає можливість глибше зрозуміти структуру системи, а також полегшує процес аналізу і подальшої оптимізації її роботи. Такий підхід сприяє більш точній розробці приладу та забезпеченню його надійності й ефективності в процесі експлуатації.

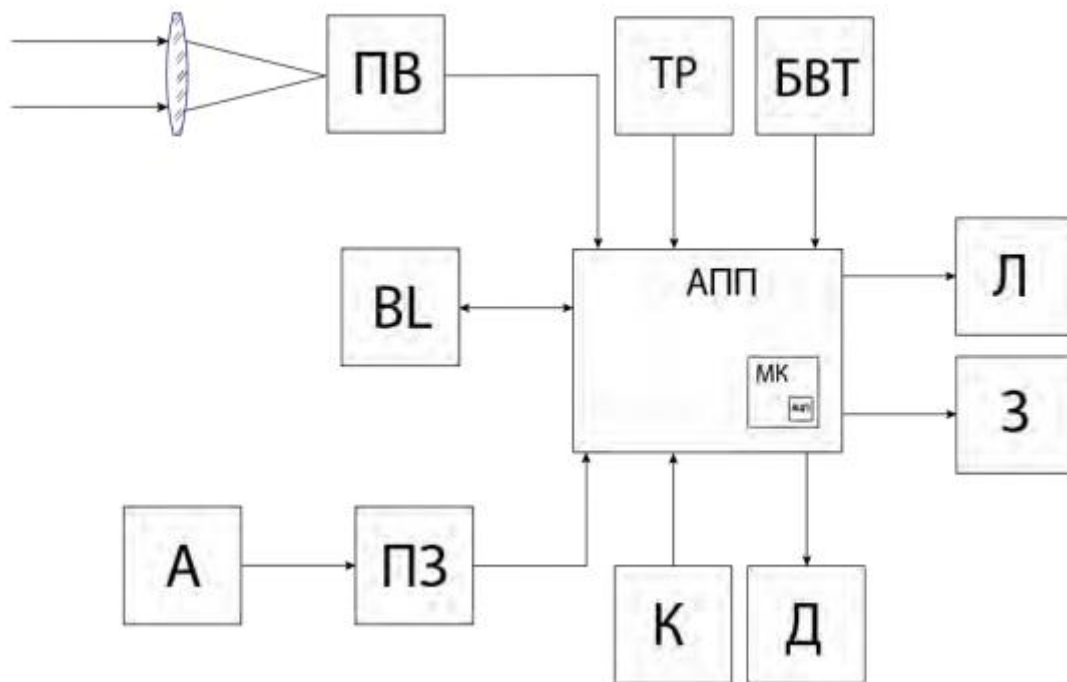


Рисунок 3.3 – Функціональна схема пристрою для безконтактного вимірювання температури

Теплове випромінювання, що виходить від нагрітого об'єкта, проходить через спеціально спроектовану лінзу Френеля, яка виконує функцію

фокусування цього випромінювання на приймачі випромінювання (ПВ). Завдяки такій оптичній системі забезпечується точне зосередження енергії, що підвищує ефективність та чутливість вимірювань. Цифровий сигнал, сформований приймачем, надходить на апаратно-програмну платформу (АПП), яка виступає центральним вузлом обробки інформації. В основі АПП лежить мікроконтролер ATmega328p (МК) із вбудованим 10-бітним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), що забезпечує високоточне перетворення аналогових сигналів у цифрові для подальшого аналізу.

Окрім цього, до АПП підключено терморезистор, який відповідає за вимірювання температури контактним методом, що дає змогу порівнювати та перевіряти безконтактні показники, підвищуючи точність і надійність результатів. Для розширення функціональних можливостей приладу до системи інтегровано додатковий модуль датчика (БВТ), який відповідає за вимірювання параметрів навколишнього середовища — зокрема, тиску, вологості та температури. Цей модуль тісно взаємодіє з АПП, дозволяючи отримувати комплексну інформацію про умови проведення вимірювань і, при необхідності, коригувати результати.

Для забезпечення зручної і швидкої комунікації з іншими сучасними пристроями, такими як смартфони чи планшетні комп'ютери, система оснащена Bluetooth-модулем (BL), що підтримує бездротовий обмін даними. Це дає змогу користувачу легко передавати інформацію, зберігати її або обробляти за допомогою мобільних додатків. Також для більш точного визначення конкретної точки вимірювання пристрій обладнано лазерним вказівником (Л), що допомагає користувачу зорієнтуватися і спрямувати пірометр на необхідний об'єкт.

Інформація про завершення процесу вимірювання подається за допомогою звукового модуля індикації (З), який повідомляє користувача про готовність результатів, забезпечуючи зручність у роботі та мінімізуючи можливість помилки через непомічений сигнал. Усі отримані дані відображаються на компактному, але чіткому OLED-дисплеї (Д) з діагоналлю

0,96 дюйма, що гарантує зручність зчитування результатів навіть за недостатнього освітлення.

Управління приладом здійснюється за допомогою кнопкової системи, яка включає як механічні, так і сенсорні елементи (К), що робить експлуатацію максимально інтуїтивною і комфортною. Джерелом живлення служить літій-іонний акумулятор формату 18650 (А), який разом із платою заряджання (ПЗ) забезпечує тривалий час роботи пристрою без необхідності частого підключення до електромережі. Крім того, плата зарядки оснащена підсилювачем вихідного струму, що стабілізує подачу живлення на рівні 5 В, забезпечуючи стабільну і безперебійну роботу всієї електронної системи пристрою.

3.4 Вибір ключових апаратних складових

Для реалізації апаратно-програмної платформи в цьому проєкті було прийнято рішення використати Arduino Nano v 3.0 — компактну, надійну і перевірену платформу, яка широко застосовується в різноманітних електронних розробках[16]. Ця плата оснащена мікроконтролером ATmega328P, який має 10-бітний аналого-цифровий перетворювач, що є важливим для точного зчитування аналогових сигналів від сенсорів. Сам мікроконтролер ATmega328P є серцем системи і представляє собою 8-бітний CMOS-чип із сімейства AVR, побудований на основі сучасної RISC-архітектури, яка забезпечує високу швидкість обробки команд, адже більшість з них виконується всього за один такт. Завдяки цій особливості, пристрій може працювати ефективно і швидко, що особливо важливо для систем, що вимагають обробки великої кількості даних у реальному часі[17].

Щодо пам'яті, мікроконтролер має достатній обсяг вбудованої Flash-пам'яті у 32 КБ, яка використовується для зберігання програмного коду, а також 2 КБ оперативної пам'яті SRAM для тимчасового збереження робочих даних під час виконання програм. Крім того, на борту є 1 КБ EEPROM-пам'яті,

яка дозволяє зберігати налаштування або інші дані, що не повинні зникати після вимкнення живлення.

Що стосується аналогового входу, мікроконтролер має 8 каналів 10-бітного аналого-цифрового перетворювача, що забезпечує роздільну здатність 5 В, поділених на 1024 рівні, тобто приблизно 0,0049 В на один рівень. Це дозволяє з високою точністю вимірювати напругу, яку видають датчики, що напряму впливає на точність вимірювань температури. Зчитування одного значення відбувається за 100 мікросекунд, що відповідає максимальній частоті вибірки в 10 000 разів на секунду, або 10 кГц. Така швидкість є більш ніж достатньою для забезпечення стабільної роботи системи та оперативної обробки сигналів.

Важливою перевагою даного мікроконтролера є його гнучкість щодо робочих частот та напруг живлення. Пристрій може функціонувати в широкому діапазоні напруг від 1,8 до 5,5 В, і при цьому підтримує різні тактові частоти: від 0 до 4 МГц при найнижчій напрузі, від 0 до 10 МГц у середньому діапазоні, та аж до 20 МГц при живленні 4,5–5,5 В. Це дає змогу адаптувати систему під різні умови використання, оптимізуючи баланс між продуктивністю і енергоспоживанням.

Загалом, вибір Arduino Nano v 3.0 з мікроконтролером ATmega328P забезпечує надійність, стабільність і необхідну продуктивність, що є ключовими чинниками для успішної реалізації проекту безконтактного вимірювання температури. Враховуючи легкість програмування та широкий набір доступних бібліотек, ця платформа ідеально підходить для швидкої розробки та подальшої експлуатації приладу.

Вибраний мікроконтролер оснащений 32 виводами, які розміщені у компактному корпусі типу «TQFP 32A». Така конфігурація забезпечує достатню кількість контактів для підключення різноманітних периферійних пристроїв, сенсорів та виконавчих модулів, що дає змогу створювати складні та функціональні електронні системи. Для передачі даних і обміну інформацією з іншими пристроями мікроконтролер використовує цифрові

порти RX і TX, які організовують послідовний інтерфейс UART. Цей стандарт зв'язку є одним із найпоширеніших і забезпечує надійну і просту передачу даних між пристроями на невеликій відстані. Окрім UART, мікроконтролер також підтримує інші популярні протоколи послідовної передачі даних, а саме I2C і SPI, що робить його універсальним для взаємодії з різними модулями, датчиками та додатковими компонентами. Це дозволяє підвищити гнучкість і масштабованість системи, а також забезпечує швидку і ефективну комунікацію в багатокомпонентних пристроях.

Для забезпечення зручного і стабільного зв'язку між мікроконтролером та персональним комп'ютером в конструкції використовується спеціальна мікросхема CH340G. Вона відповідає за перетворення сигналів між послідовним інтерфейсом UART і інтерфейсом USB, що дає можливість підключати пристрій безпосередньо до комп'ютера через стандартний USB-порт. Це значно спрощує процес програмування, налагодження і обміну даними, оскільки не потребує додаткового спеціалізованого обладнання. Завдяки такому рішенню, розробники та користувачі отримують зручний та інтуїтивний спосіб взаємодії з пристроєм, що особливо важливо для швидкої та ефективної розробки апаратно-програмних комплексів.

Загалом, поєднання розширених можливостей вводу-виводу, підтримки кількох послідовних інтерфейсів і наявності USB-перетворювача робить цю апаратну платформу дуже універсальною і зручною для реалізації різноманітних проектів, у тому числі і для точних безконтактних систем вимірювання температури.

Технічні характеристики плати Arduino Nano v 3.0 повністю відповідають вимогам та умовам, необхідним для успішного застосування у розробці проектного пірометра. Ця плата чудово підходить для даного типу пристроїв завдяки своїй оптимальній потужності, розмірам та функціональним можливостям, що забезпечують надійну роботу системи вимірювання безконтактної температури.

Серед основних переваг використання саме цієї апаратно-програмної платформи при створенні пірометра варто виокремити кілька важливих аспектів. По-перше, монтаж плати не потребує складних паяння чи спеціалізованих навичок, адже з'єднання всіх необхідних компонентів здійснюється за допомогою спеціальних макетних плат, перемичок і проводів. Це значно спрощує процес зборки, зменшує час на виготовлення прототипу і робить його доступним навіть для початківців.

По-друге, компактні розміри плати Arduino Nano дозволяють створювати невеликі, легкі та портативні пристрої, що є надзвичайно важливим для мобільних приладів, зокрема таких, як пірометри, які повинні бути зручними у використанні і транспортуванні.

Також, платформа має вбудований програматор, що забезпечує можливість швидкого і зручного налаштування системи через персональний комп'ютер за допомогою звичайного USB-кабелю. Ця особливість спрощує процес програмування і налагодження пристрою, що є великою перевагою для розробників і користувачів.

Варто також відзначити привабливу цінову політику, що робить Arduino Nano доступною для широкого кола користувачів, включно з аматорами та професіоналами. Це дозволяє значно зекономити бюджет розробки без шкоди якості.

Ще одним вагомим плюсом є простота і доступність платформи, що значно скорочує час на освоєння і впровадження у проект, робить її популярною серед інженерів, студентів і хобістів. Крім того, Arduino Nano характеризується кроссплатформенністю — програмне забезпечення підтримує різні операційні системи, такі як macOS, Windows та Linux. Це особливо важливо, оскільки більшість аналогічних пристроїв обмежені лише Windows, що може створювати складнощі для користувачів інших платформ.

Завдяки високим технологічним характеристикам, надійності та широкому спектру можливостей, Arduino стала однією з найпопулярніших апаратно-програмних платформ у світі. Її багатофункціональність і зручність

використання роблять її ідеальним вибором для різноманітних проектів, у тому числі для точних і складних пристроїв безконтактного вимірювання температури, таких як пірометри.

Для відображення та візуалізації отриманих результатів вимірювань було прийнято рішення використати OLED-дисплей діагоналю 0,96 дюйма з інтерфейсом I2C та роздільною здатністю 128×64 пікселів. Такий тип дисплея має низку суттєвих переваг у порівнянні зі звичайними рідкокристалічними екранами, які традиційно застосовуються у більшості пірометрів, представлених на сучасному ринку. Зокрема, технологія OLED дозволяє кожному пікселю самостійно світитися без необхідності додаткового підсвічування, що суттєво покращує якість зображення, забезпечує високу контрастність та насиченість кольорів. Завдяки цьому користувачі зможуть зручно і легко читати інформацію на екрані навіть у повній темряві або умовах низького освітлення, що є особливо важливим для безконтактних пристроїв вимірювання температури, які часто застосовуються в різноманітних середовищах, включаючи лабораторії, виробничі цехи чи польові умови. Крім того, OLED-дисплеї відзначаються низьким енергоспоживанням, що позитивно впливає на загальну автономність пристрою, дозволяючи значно довше працювати від одного заряду акумулятора. Такий вибір екрану підвищує зручність використання приладу та робить його більш функціональним і привабливим для кінцевого користувача.

Завдяки унікальним властивостям OLED-технології, чорний колір на такому дисплеї є по-справжньому чорним, оскільки світлодіоди, що неактивні, просто не світяться, не випромінюючи жодного світла в темряві. Це принципово відрізняє OLED-дисплеї від рідкокристалічних, де чорний колір формується шляхом блокування світла через рідкі кристали або тонкоплівкові транзистори, що не завжди дає ідеальний ефект. Білий колір при цьому залишається яскравим і чітким, адже світло не проходить крізь додаткові шари, що часто зменшують його інтенсивність. Завдяки використанню органічних світлодіодів дисплеї забезпечують широкий кут огляду, який може сягати

понад 160°, що є суттєвою перевагою для користувачів, адже зображення та текст залишаються чіткими і контрастними навіть при погляді під гострим кутом. Крім того, OLED-дисплеї характеризуються зниженим енергоспоживанням порівняно з традиційними LCD, що особливо важливо для портативних і компактних пристроїв, де автономність є ключовим фактором. Також слід відзначити високий рівень контрастності таких дисплеїв, який значно покращує читаність та візуальне сприйняття інформації. Компактні розміри і мала товщина OLED-модулів роблять їх ідеальним вибором для сучасних компактних електронних приладів, де важливі як ергономічність, так і естетичний вигляд. Усе це в комплексі робить OLED-дисплеї одним з найкращих варіантів для візуалізації результатів вимірювань у безконтактних термометрах та інших портативних датчиках[18].

Якість зображення, яку забезпечує OLED-дисплей, є однією з ключових переваг цього типу екранів. Вона відзначається високою чіткістю, насиченими кольорами і відсутністю розмиття навіть при швидкому оновленні кадрів. Окрім цього, низька вартість таких дисплеїв робить їх надзвичайно привабливими для виробників, які прагнуть створити доступні та одночасно технологічно сучасні пристрої. Ідеальні кути огляду, що досягаються завдяки використанню органічних світлодіодів, дозволяють користувачам зручно сприймати інформацію з дисплея практично з будь-якого положення, що підвищує зручність експлуатації приладу. Ці особливості роблять OLED-дисплеї популярним вибором серед різноманітних видів екранів, представлених сьогодні на ринку електроніки. Важливо також відзначити, що наразі пристроїв безконтактного вимірювання температури, оснащених OLED-дисплеями, на ринку досить мало. Саме тому впровадження такого компонента у конструкцію пірометра може стати важливою конкурентною перевагою, виділяючи продукт серед численних аналогів. Це надасть можливість не лише підвищити привабливість приладу для кінцевого користувача, а й покращити його функціональність та загальний користувацький досвід. Таким чином, використання OLED-дисплея стає

стратегічно вигідним рішенням для розробників, які прагнуть створити сучасний, ефективний і комфортний у використанні пристрій.

Для реалізації функції безконтактного вимірювання температури у нашому пірометрі було обрано модуль MLX90614, який заслужено вважається одним із найбільш універсальних і надійних інфрачервоних датчиків на сучасному ринку. Цей модуль широко застосовується для контролю температури як рухомих, так і важкодоступних об'єктів, що робить його надзвичайно актуальним і корисним для функціоналу нашого приладу, адже можливість точно й оперативно вимірювати температуру в різних умовах є надзвичайно важливою характеристикою.

Щодо способів отримання даних, MLX90614 пропонує два основні методи: перший — це зчитування температурних показників через SMBus-інтерфейс, який фактично є аналогом популярного протоколу I2C, що забезпечує надійну і стабільну передачу інформації; другий — через вихідний сигнал із широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ) з частотою 10 Гц, що також дає змогу ефективно інтегрувати модуль у різні системи збору та обробки даних.

Вибір саме цього модуля було зумовлено не лише його чудовими технічними характеристиками, а й низкою практичних переваг. До них належать компактні розміри, що полегшують інтеграцію в компактні прилади, доступність і помірна вартість, що робить його привабливим як для промислових, так і для наукових застосувань. Важливою перевагою є також низьке енергоспоживання, що сприяє збільшенню часу автономної роботи пристрою. Вбудовані можливості програмування, калібрування та гнучкої конфігурації дозволяють адаптувати модуль до різних специфічних вимог, що підвищує загальну універсальність пірометра.

Корпус датчика оснащений зручними монтажними отворами, що значно спрощує кріплення і фіксацію модуля у конструкції пристрою. Крім того, у конструкцію інтегровані стабілізатор напруги та резистори на цифровій шині,

що покращує стабільність роботи та зменшує ймовірність помилок при передачі даних.

Висока роздільна здатність і точність вимірювання забезпечуються сучасним апаратним оснащенням: вбудованим підсилювачем, 17-бітним аналогово-цифровим перетворювачем і потужним цифровим сигнальним процесором (DSP), що дозволяє досягати максимальної точності та надійності при зборі температурних даних.

Щоб убезпечити датчик від впливу сонячного випромінювання, особливо в діапазоні видимого та близького інфрачервоного світла, використовується спеціальний оптичний фільтр. Він ефективно відсікає ці спектральні компоненти, пропускаючи лише довжини хвиль в діапазоні 5,5–14 мкм, що відповідає інфрачервоному спектру, необхідному для точних температурних вимірювань.

Не менш важливо, що точність і стабільність отриманих вимірювань значною мірою залежать від умов теплової рівноваги, а також ізотермічних характеристик навколишнього середовища, в якому розміщений датчик. Це означає, що для досягнення максимально точних результатів слід звертати увагу на відповідне розміщення датчика та умови його експлуатації[19].

Таким чином, MLX90614 є оптимальним вибором для інтеграції у безконтактний пірометр, адже поєднує в собі надійність, точність, зручність використання та широкий функціонал, що сприятиме створенню високоякісного і конкурентоспроможного пристрою.

Для розширення функціональних можливостей приладу було прийнято рішення інтегрувати метеодатчик BME280, який забезпечить можливість вимірювати основні параметри навколишнього середовища — температуру, атмосферний тиск та рівень вологості. Використання цього сенсора значно підвищує універсальність пристрою, дозволяючи отримувати більш комплексні дані, що можуть бути важливими для різних сфер застосування.

Датчик BME280 відомий своєю високою точністю вимірювань, що гарантує достовірність отриманої інформації. Він відзначається швидким

реагуванням інтерфейсу, що дозволяє оперативно оновлювати дані, а також має низьке енергоспоживання, що є важливим для пристроїв з обмеженими ресурсами живлення. Крім того, цей сенсор постачається з заводським калібруванням, що усуває необхідність додаткових налаштувань або зовнішніх компонентів для забезпечення коректної роботи. Завдяки цьому інтеграція VME280 у розроблюваний прилад є оптимальним рішенням для підвищення його функціональності без ускладнення конструкції[20].

3.5 Вибір додаткових компонентів

Пристрій, створений на основі мікросхеми HT4928S, має в своїй конструкції інтегрований перетворювач напруги, який забезпечує стабільний вихідний рівень 5 В. Це ідеально підходить для живлення апаратно-програмної платформи Arduino, яка потребує такого напругового режиму для своєї коректної роботи. Крім того, у складі пристрою присутній модуль PowerBank, що відповідає за зарядку літій-іонних або літій-полімерних акумуляторів, забезпечуючи тим самим автономність і зручність у користуванні без необхідності частого підключення до зовнішнього живлення[21].

Для спрощення процесу прицілювання на об'єкт вимірювання у пристрій було інтегровано лазерний вказівник Laser Module потужністю 5 мВт із довжиною хвилі 650 нм у червоному спектрі. Цей модуль здатний стабільно випромінювати світло в заданому діапазоні, що дозволяє точно і швидко наводити прилад на необхідну точку вимірювання. Лазер відзначається компактними розмірами (6,5×18 мм) та широким температурним діапазоном роботи, що варіюється від -30 до +65 градусів Цельсія, що робить його надійним навіть за умов нестабільних кліматичних умов. Подібні лазерні модулі широко використовуються у різноманітних проектах на базі Arduino та інших мікроконтролерів завдяки їх простоті і ефективності[22].

Для зручності управління пристроєм розробники обрали цифровий сенсорний модуль TTP223 Touch key. Цей сенсорний датчик реагує на легкий дотик пальця і може працювати навіть через скло або пластикову поверхню товщиною до 3 мм, що робить його зручним для використання у різних конструкціях без необхідності відкриття корпусу[23]. Діапазон напруги живлення для цього модуля коливається від 2 до 5,5 В, що відповідає стандартним параметрам більшості мікроконтролерних систем. Час відгуку сенсора в активному режимі складає близько 60 мілісекунд, а у режимі пониженого енергоспоживання – приблизно 220 мілісекунд. Незважаючи на високу функціональність, модуль відрізняється компактними розмірами (24×24 мм) та дуже малою вагою – всього 3 грами, що сприяє його легкому впровадженню у корпус приладу без зайвого збільшення габаритів.

Окрім цього, для вимірювання температури навколишнього середовища в пристрої застосовується термістор, який змінює свій електричний опір у залежності від зміни температури. Завдяки такій властивості він ефективно виконує функції аналогового температурного сенсора. Робочий температурний діапазон цього термістора охоплює від -30°C до +125°C, що дозволяє використовувати його в найрізноманітніших умовах. Номінальний опір термістора становить 10 кОм, а точність вимірювання температури досить висока і складає близько 0,05°C. Це забезпечує надійність і достовірність отриманих даних при роботі пристрою в реальних умовах експлуатації. Таким чином, поєднання цих компонентів робить прилад багатофункціональним, зручним у користуванні та надійним у роботі.

3.6 Огляд функціоналу пристрою та принцип користування

Пристрій поєднує в собі сучасні апаратно-програмні рішення, що дозволяють користувачеві легко та зручно отримувати необхідні дані з мінімальними зусиллями. Завдяки інтеграції різноманітних сенсорів та модулів, пристрій здатен не лише вимірювати температуру об'єктів на відстані,

а й збирати додаткову інформацію про умови навколишнього середовища, що суттєво розширює спектр його застосувань.

Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та зручна система управління забезпечують простоту взаємодії, роблячи пристрій доступним для широкого кола користувачів незалежно від рівня технічної підготовки. Застосування сучасних дисплейних технологій дозволяє отримувати чітке та контрастне відображення результатів у різних умовах освітлення, включаючи темний час доби. Вбудовані засоби комунікації відкривають можливості для інтеграції з іншими пристроями, що робить прилад більш функціональним і гнучким у використанні.

Загалом, принцип користування розробленим пристроєм базується на поєднанні простоти, надійності та сучасних технологій, що забезпечує комфортну та ефективну роботу. Усе це робить прилад не лише корисним інструментом для професіоналів, але й зручним гаджетом для повсякденного застосування. Таким чином, розробка не лише відповідає сучасним вимогам ринку, але й закладає основу для подальшого вдосконалення та розширення функціоналу.

3.7 Висновки до розділу 3

У процесі розробки приладу безконтактного вимірювання температури було проведено ретельне обґрунтування вибору типу пірометра та моделювання оптичної системи, що забезпечує оптимальні умови для точного та надійного вимірювання. Враховувалися основні параметри, які впливають на якість отриманих даних, а також технічні особливості конструкції, що дозволяють досягти високої ефективності при компактних габаритах.

Подальший вибір апаратно-програмних компонентів був зумовлений прагненням поєднати простоту використання з широкими функціональними можливостями. Обрана платформа забезпечує необхідну продуктивність та гнучкість, що дає змогу ефективно реалізувати основні задачі пристрою.

Інтеграція сучасних модулів для відображення інформації, вимірювання навколишніх параметрів та комунікації сприяє зручності експлуатації і розширює можливості застосування.

Загалом, виконані етапи проектування і підбір компонентів створюють міцну основу для подальшого вдосконалення пристрою, що відповідає сучасним тенденціям розвитку подібних технологій і потребам користувачів. Розроблений підхід забезпечує баланс між функціональністю, точністю і простотою використання, відкриваючи широкі перспективи для практичного застосування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є фундаментальним аспектом сучасного суспільства, її значення неможливо переоцінити. Це не просто набір правил чи формальних вимог, а комплексна система, спрямована на збереження найціннішого ресурсу – людського життя, здоров'я та працездатності в процесі виконання трудових обов'язків. Першочерговим завданням охорони праці є забезпечення безпеки виробничих процесів на всіх їхніх етапах. Це означає не лише виявлення та усунення потенційних загроз на робочих місцях, але й розробку превентивних заходів, що мінімізують ризики. Кожен інструмент, кожна машина, кожен виробничий етап має бути спроектований та функціонувати з урахуванням максимальної безпеки для людини. Це є базисом для уникнення нещасних випадків та надзвичайних ситуацій, які можуть мати фатальні наслідки.

Розроблення пристрою для безконтактного вимірювання температури відбувалося в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; пряма і відбита блискість; підвищена яскравість; понижена контрастність; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

На основі зазначених факторів розробляємо заходи з гігієни праці та виробничої санітарії, які допоможуть забезпечити безпечні та комфортні умови праці.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Розроблення пристрою для безконтактного вимірювання температури було здійснене із застосуванням персонального комп'ютера (ПК) як основного інструментального засобу. Ефективність та надійність цього процесу вимагають дотримання специфічних умов до організації робочого місця.

1) Забезпечення безпеки праці. Робоче місце має бути розташоване так, щоб уникнути попадання в очі прямого сонячного світла; штучне освітлення має бути достатнім, рівномірним і без різких контрастів; на робочому місці не повинно бути сторонніх предметів, які можуть перешкодити роботі або призвести до травми; освітлювальні прилади повинні бути встановлені так, щоб не створювати відблисків на екрані монітора; провідні кабелі повинні бути надійно закріплені, щоб уникнути їх пошкодження;

2) Дотримання гігієни праці. Площа робочого місця має бути не менше 6 м², а об'єм - не менше 20 м³; висота робочого столу має бути відрегульована таким чином, щоб відстань від очей до верхнього краю екрана монітора становила 50-60 см; висота стільця має бути відрегульована таким чином, щоб ноги спиралися на підлогу, а лікті були зігнуті під прямим кутом; монітор має бути розташований на рівні очей працівника; клавіатура і миша повинні знаходитися на відстані не більше 60 см від працівника; на робочому місці має бути достатньо свіжого повітря;

3) Забезпечення комфорту під час виконання роботи. Робоче місце має бути добре освітленим і провітреним; температура повітря в приміщенні має відповідати встановленим нормам; робочий стіл і стілець мають бути зручними і відповідати антропометричним даним працівника; на робочому місці має бути достатньо місця для зберігання документів і особистих речей.

Відповідальність за дотримання вимог до робочого місця за ПК покладається на роботодавця. Роботодавець повинен забезпечити відповідні

умови праці для своїх працівників, а також провести навчання працівників з питань охорони праці. Вимоги безпеки під час роботи на ПК регулюються низкою нормативних документів, зокрема ДСТУ ISO 45001:2019, ДСТУ 8604:2015, ДСан ПіН 3.3.2.007-98, НПАОП 0.00-7.15-18 тощо.

Для підтримання високої працездатності та профілактики професійних захворювань необхідно дотримуватись режимів праці та відпочинку. Регламентовані 5-хвилинні перерви (крім основної на обід) потрібно влаштовувати після кожної години роботи. Під час цих перерв доцільно виконувати спеціальні вправи для зняття втоми очей та підтримання загального м'язового тону. Для зняття нервово-психологічної напруги варто обладнати кімнату психофізіологічного розвантаження.

4.1.2 Електробезпека приміщення

На робочому місці функціонують два персональні комп'ютери, кожен з яких живиться від стандартної мережі зі номінальною напругою 220 В. Відповідно до чинних Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення, де розташовані зазначені робочі місця, класифікується як приміщення без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом. Ця класифікація ґрунтується на відсутності умов, що сприяють підвищенню ризику електротравматизму, таких як: наявність струмопровідної підлоги (відсутність металевих, залізобетонних або інших струмопровідних покриттів, що можуть становити додатковий ризик), висока вологість або струмопровідний пил (приміщенню не притаманна постійна або тривала вологість понад 75%, а також відсутні значні накопичення струмопровідного пилу), можливість одночасного дотику до заземлених металевих конструкцій та електрообладнання (конфігурація робочих місць та розташування обладнання виключає таку можливість) та висока температура (відсутні екстремально високі температури, що можуть впливати на ізоляційні властивості проводки).

Незважаючи на дану класифікацію, дотримання базових принципів електробезпеки залишається обов'язковим. Це включає:

- ☐ використання справного, сертифікованого електрообладнання;
- ☐ регулярний візуальний огляд проводки та розеток на предмет пошкоджень;
- ☐ заборону самостійного ремонту електроустаткування;
- ☐ наявність засобів захисного відключення (УЗО) у мережі живлення;
- ☐ забезпечення належного заземлення комп'ютерів та іншого електричного обладнання.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- ☐ ізолювання нормально струмоведучих елементів електроустаткування, щоб людина не могла до них доторкнутися;
- ☐ заземлення електрообладнання, щоб у разі пробоя ізоляції струм не проходив через людину;
- ☐ систематичне проведення інструктажів з електробезпеки, щоб працівники знали, як поводитися з електрообладнанням;
- ☐ суворе дотримання правил електробезпеки на робочому місці.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Людський організм постійно генерує тепло внаслідок метаболічних процесів. Для підтримання гомеостазу та забезпечення оптимального самопочуття, це вироблене тепло має ефективно відводитися в навколишнє середовище. Найкращі мікрокліматичні умови характеризуються такими параметрами, що сприяють ефективному розсіюванню надлишкового тепла, запобігаючи перегріву або переохолодженню організму. У ситуаціях, коли мікрокліматичні умови є незадовільними (наприклад, занадто висока або низька температура повітря, підвищена вологість), організм активує внутрішні

механізми терморегуляції. Ці механізми спрямовані на балансування теплоутворення та тепловіддачі, щоб підтримувати сталу внутрішню температуру тіла, що є критично важливим для функціонування фізіологічних систем.

За енерговитратами розроблення пристрою для безконтактного вимірювання температури згідно Гігієнічної класифікацією праці відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 4.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99)

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для того, щоб в приміщенні були комфортні умови праці, передбачено два заходи:

- ☐ централізована парова система опалення забезпечує приміщення теплом в холодну пору року;
- ☐ система припливно-витяжної вентиляції забезпечує приплив свіжого повітря і відведення забрудненого повітря, щоб підтримувати в приміщенні оптимальну температуру, вологість і швидкість руху повітря;
- ☐ чистота повітря підтримується за допомогою регулярного прибирання і дезінфекції.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати гранично-допустимих концентрацій (ГДК). ГДК – це максимальна концентрація шкідливої речовини в повітрі, яка не викликає негативного впливу на здоров'я людини при щоденній 8-годинній роботі протягом 40 років.

Основними джерелами забруднення повітря робочої зони є:

- ☐ комп'ютерні пристрої, які виділяють пил, оксиди вуглецю та інші шкідливі речовини;
- ☐ системи автоматики, які можуть виділяти оксиди азоту, оксиди сірки та інші шкідливі речовини;
- ☐ оператори, що працюють з обладнанням, які можуть виділяти пил, хімічні речовини та інші шкідливі речовини.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин для повітря робочої зони наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Оксид сірки	1,5	0,5	2
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4

Повітря, що містить негативні аероіони, є своєрідним екраном, що відображає випромінювання позитивних іонів від дисплеїв, телевізорів та іншої оргтехніки. Нормативні рівні іонізації повітря у виробничих та громадських приміщеннях наведені в санітарних правилах і нормативах СанПіН 2.2.4.1294-03 [27]. Згідно з цим документом регламентують: мінімально допустимий рівень, максимально допустимий рівень, коефіцієнт уніполярності (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Повітря робочої зони очищається від шкідливих речовин за допомогою механічної вентиляції. Для зменшення кількості пилу в приміщенні проводиться систематичне вологе прибирання, яке дозволяє видалити пил з поверхонь, обладнання та інших предметів.

4.2.3 Виробниче освітлення

У виробничих умовах забезпечення безпечних і здорових умов праці є пріоритетом, де раціональне освітлення відіграє ключову роль. Правильно спроектоване та реалізоване освітлення робочих зон та місць дозволяє працівникам чітко розрізняти об'єкти та інструменти протягом тривалого часу без надмірної втоми. Це безпосередньо сприяє зниженню ризиків травматизму та розвитку професійних захворювань органів зору. Однак, блики та віддзеркалення від джерел світла (як-от світильники та вікна) можуть суттєво погіршити видимість і спричинити значне фізіологічне навантаження на очі. Це, своєю чергою, призводить до швидкої та значної зорової втоми, особливо при виконанні тривалих робіт. Тому мінімізація віддзеркалень є таким же важливим аспектом, як і достатня освітленість, для підтримки комфортних та безпечних умов праці.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 та умов виконання дослідження) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення в приміщенні необхідно регулярно проводити профілактичне обслуговування освітлювальної системи. Це включає в себе чищення вікон, очищення ламп від пилу та заміну перегорілих світильників.

4.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум визначається як акустичне забруднення, що генерується під час експлуатації обладнання, машин, транспортних засобів та інших механізмів. Він може мати різний характер – від постійного до періодичного, з варіаціями інтенсивності та частоти. Основна небезпека виробничого шуму полягає у його потенційно негативному впливі на здоров'я людини. Тривалий вплив шуму може призвести до низки несприятливих наслідків, зокрема: шумової травми (гостре порушення слуху, що виникає внаслідок одноразової дії інтенсивного шуму), зниження слуху, порушення сну, психічних розладів (вплив на емоційний та когнітивний стан, що може проявлятися у підвищеній дратівливості, стресі та зниженні концентрації уваги), зниження працездатності та підвищеній втомлюваності (прямий наслідок перевантаження нервової системи, що веде до зниження продуктивності праці та загального виснаження).

Джерелами шуму під час розроблення імітансного електронного ключа є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення. Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку L_A в приміщенні наведені у таблиці 4.5. (згідно ДСН 3.3.6.037-99 [28]).

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів, а також раціонального розташування виробничого обладнання.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Оскільки робота дослідника проводилася за допомогою ПК, то на робочому місці розробника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання. Вплив електромагнітних випромінювань від ПК на організм працівника залежить від багатьох факторів, зокрема: діапазону частот (частота випромінювання впливає на глибину його проникнення в тканини), тривалості опромінення (тривале опромінення може призвести до більш серйозних наслідків), характеру опромінення (постійне опромінення є більш шкідливим, ніж імпульсне), режиму опромінення (опромінення з високою інтенсивністю небезпечніше, ніж опромінення з низькою інтенсивністю), розмірів поверхні тіла, яке опромінюється (більша площа опромінення збільшує ризик негативних наслідків), а також індивідуальних особливостей організму.

Електромагнітні випромінювання, випромінювані відеодисплейним терміналом, мають широкий діапазон частот. Стандарти вимагають, щоб електромагнітне випромінювання від ПК вимірювалося в діапазоні частот від 5 Гц до 400 кГц.

Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від часу їх впливу встановлюються СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» [30]. Згідно з цим нормативним документом перебування в ЕП промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля радіочастотного діапазону для працівника становлять $E_{гдр} = 25 \text{ В/м}$ та $B_{гдр} = 250 \text{ нТл}$.

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на дослідника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

4.3 Пожежна безпека

В приміщенні, де здійснювалося розроблення пристрою для безконтактного вимірювання температури використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень.

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Робоча зона відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності. Межі вогнестійкості конструкцій будівлі наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Межі вогнестійкості конструкцій будівлі

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				колони	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогоны	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	RE 15 M0	R 30 M0

Позначення в таблиці: R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де відбувається розроблення пристрою для безконтактного вимірювання температури такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електропобутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкнутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої або іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Відповідні обов'язки та повноваження щодо пожежної безпеки повинні бути чітко відображені у трудових договорах (контрактах) кожного працівника, а також закріплені у статутах та внутрішніх положеннях підприємств. Це забезпечує юридичну визначеність та індивідуальну відповідальність кожного суб'єкта за дотримання встановлених норм. Таке інтегрування вимог пожежної безпеки на всіх рівнях організації є запорукою ефективного функціонування системи попередження пожеж та мінімізації їхніх наслідків.

У приміщенні на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5, що відповідає нормам. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні. Важливим аспектом забезпечення пожежної безпеки є також вільний доступ до засобів первинного пожежогасіння та до засобів відключення електросхем устаткування. Відсутність перешкод на цих шляхах гарантує оперативне реагування на надзвичайну ситуацію, що є критично важливим для мінімізації ризиків та потенційних збитків. Регулярні перевірки та підтримання доступності цих елементів є обов'язковою умовою для підтримання високого рівня пожежної безпеки об'єкта.

У коридорі приміщення розміщено схему евакуації людей у разі пожежі, що забезпечує чітке візуальне інформування про безпечні маршрути. Шляхи

евакуації з відділу повністю відповідають чинним правилам пожежної безпеки, гарантуючи їхню доступність та ефективність. У будинку передбачено два евакуаційні виходи. Ширина коридору, що веде до цих виходів, становить 2-3 метри, що є достатнім для забезпечення безперешкодного руху великої кількості людей. Двері на шляхах евакуації мають ширину 0,8 м і, що критично важливо, відчиняються у напрямку руху людей під час евакуації. Це мінімізує час, необхідний для виходу, та запобігає створенню заторів, підвищуючи загальну безпеку евакуації.

Загалом, приміщення відповідає встановленим нормам за категорією вибухо- і пожежонебезпечності та ступенем вогнестійкості. Це свідчить про базову відповідність вимогам безпеки. Однак, для підтримки високого рівня пожежної безпеки, особливу увагу слід приділити таким аспектам:

Утримання в справному стані засобів протипожежного захисту. Необхідно забезпечити регулярне технічне обслуговування, перевірку та, за потреби, ремонт усіх систем та засобів пожежогасіння (вогнєгасників, пожежних гідрантів, автоматичних систем пожежогасіння тощо). Це запобігатиме їхній відмові у критичний момент.

Своєчасне інформування пожежної охорони про несправності пожежної техніки. Будь-які виявлені несправності або пошкодження протипожежного обладнання повинні негайно передаватися до відповідних служб пожежної охорони для їхнього усунення. Це гарантує оперативне реагування та підтримку готовності систем.

Впровадження сучасних систем протипожежного захисту. Розгляд можливості модернізації та впровадження новітніх систем пожежної сигналізації, оповіщення про пожежу, автоматичного пожежогасіння та димовидалення. Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність виявлення та локалізації пожеж, мінімізуючи ризики для людей та майна.

ВИСНОВКИ

Температура як фізична величина відображає середню кінетичну енергію частинок у речовині, що є фундаментальною характеристикою теплового стану об'єкта. Розуміння фізичної природи температури та принципів її вимірювання є ключовим для розробки точних і надійних методів контролю теплових процесів. Одним із основних способів визначення температури без фізичного контакту є вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке випромінюють всі тіла залежно від своєї температури. Спектральний розподіл цього випромінювання строго пов'язаний із температурою об'єкта, що дозволяє отримувати достовірні значення температури на відстані за допомогою спеціалізованих сенсорів. Врахування фізичних характеристик об'єктів, особливо біологічних тканин, які мають специфічні емісивні властивості і спектри випромінювання, є надзвичайно важливим для застосувань у медичній діагностиці, де точність і безпечність вимірювань мають першочергове значення. Крім того, теоретично обґрунтовані методи і принципи вимірювання температури закладають основу для подальшого удосконалення технологій, розробки нових приладів і алгоритмів обробки даних, що дозволяє підвищувати ефективність і точність безконтактних вимірювань. Враховуючи різноманітність факторів, які можуть впливати на результати вимірювань — від фізичних властивостей матеріалів до умов навколишнього середовища — системний підхід до вивчення теоретичних засад вимірювання температури є необхідним для створення надійних і адаптивних систем контролю. Таким чином, сформовані теоретичні знання слугують міцним фундаментом для подальших практичних розробок і впровадження сучасних безконтактних технологій у сфері контролю температури.

В огляді приладів для безконтактного вимірювання температури було проаналізовано основні класи пристроїв, їх конструктивні особливості, принципи роботи та технічні характеристики. Сучасні безконтактні

термометри, зокрема інфрачервоні сенсори, забезпечують швидке, безпечне та зручне визначення температури, що робить їх особливо цінними в медичних застосуваннях. Принципи роботи таких приладів базуються на реєстрації інфрачервоного випромінювання, яке є прямим відображенням температури поверхні об'єкта. Конструкція сенсорів постійно вдосконалюється для підвищення чутливості та стабільності, що дозволяє забезпечувати точність і повторюваність вимірювань.

Водночас огляд показав, що точність і надійність безконтактних вимірювань значною мірою залежать від правильності калібрування та корекції приладів, а також від умов експлуатації. Вплив зовнішніх факторів, таких як температура навколишнього середовища, вологість і стан шкіри пацієнта, може істотно спотворювати результати, що підкреслює необхідність врахування цих параметрів при клінічному використанні. Крім того, існують технологічні обмеження, пов'язані з деградацією сенсорів у процесі тривалої експлуатації та розбіжностями в стандартах калібрування різних виробників.

Аналіз сучасного ринку свідчить про активний розвиток інноваційних технологій, серед яких покращені матеріали сенсорів, застосування цифрової обробки сигналів, впровадження адаптивних алгоритмів корекції та використання штучного інтелекту для підвищення точності. Незважаючи на це, продовжуються роботи над уніфікацією стандартів і методів калібрування, що є важливим для забезпечення порівнянності і достовірності результатів у медичній практиці.

Таким чином, сучасні безконтактні прилади для вимірювання температури представляють собою складні технічні системи, здатні забезпечити високий рівень ефективності за умови дотримання правильних методик експлуатації та регулярного технічного обслуговування. Подальший розвиток технологій та впровадження новітніх підходів у конструкцію і обробку даних відкривають перспективи для значного покращення якості безконтактних температурних вимірювань, особливо у сфері медицини.

У процесі розробки приладу безконтактного вимірювання температури було проведено ретельне обґрунтування вибору типу пірометра та моделювання оптичної системи, що забезпечує оптимальні умови для точного та надійного вимірювання. Враховувалися основні параметри, які впливають на якість отриманих даних, а також технічні особливості конструкції, що дозволяють досягти високої ефективності при компактних габаритах.

Подальший вибір апаратно-програмних компонентів був зумовлений прагненням поєднати простоту використання з широкими функціональними можливостями. Обрана платформа забезпечує необхідну продуктивність та гнучкість, що дає змогу ефективно реалізувати основні задачі пристрою. Інтеграція сучасних модулів для відображення інформації, вимірювання навколишніх параметрів та комунікації сприяє зручності експлуатації і розширює можливості застосування.

Загалом, виконані етапи проектування і підбір компонентів створюють міцну основу для подальшого вдосконалення пристрою, що відповідає сучасним тенденціям розвитку подібних технологій і потребам користувачів. Розроблений підхід забезпечує баланс між функціональністю, точністю і простотою використання, відкриваючи широкі перспективи для практичного застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Baker, John M.; Noman, John M.; Kano, Atsushi. A new approach to infrared thermometry. *Agricultural and forest meteorology*, 2001, 108.4: 281-292.
2. Lagüela, S.; Díaz-vilariño, L.; Roca, D. Infrared thermography: Fundamentals and applications. *Non-Destructive Techniques for the Evaluation of Structures and Infrastructure*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016, 113-138.
3. Kingston, Robert Hildreth. *Detection of optical and infrared radiation*. Springer, 2013.
4. Michalski, Ludwig, et al. Temperature Measurement, 2nd edn. *Measurement Science and Technology*, 2002, 13.10: 1651-1652.
5. Howell, John R., et al. *Thermal radiation heat transfer*. CRC press, 2020.
6. Speakman, John R.; Ward, S. Infrared thermography: principles and applications. *Zoology-Jena-*, 1998, 101: 224-232.
7. Ring, E. F. J.; Ammer, Kurt. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological measurement*, 2012, 33.3: R33.
8. Chrzanowski, Krzysztof. Non-contact thermometry. *Measurement errors. Research&Development Treatises*, 2001, 7.
9. Speakman, John R.; WARD, S. Infrared thermography: principles and applications. *Zoology-Jena-*, 1998, 101: 224-232.
10. Rogalski, Antoni. Infrared detectors: an overview. *Infrared physics & technology*, 2002, 43.3-5: 187-210.
11. Long, Guangli. Design of a non-contact infrared thermometer. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 2016, 9.2: 1110.
12. Zhao, Yuanzhe; Bergmann, Jeroen HM. Non-contact infrared thermometers and thermal scanners for human body temperature monitoring: a systematic review. *Sensors*, 2023, 23.17: 7439.

13. <https://www.marketsandmarkets.com/report-search-page.asp?rpt=infrared-thermometer-market>
14. Kesztyüs, Dorothea, et al. Use of infrared thermography in medical diagnosis, screening, and disease monitoring: A scoping review. *Medicina*, 2023, 59.12: 2139.
15. <https://nanovea.com/fresnel-lens-topography/>
16. <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/>
17. <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P>
18. Tsujimura, Takatoshi. *OLED display fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 2017.
19. <https://www.melexis.com/en/product/MLX90614/Digital-Plug-Play-Infrared-Thermometer-TO-Can>
20. <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
21. <https://www.scribd.com/document/492877190/HT4928S-HOTCHIP-EN>
22. <https://lasermate.com/wp-content/uploads/2023/08/ld650c5c27-laser-diode-data-sheet.pdf>
23. https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Touch_Sensor/res/TTP223.pdf
24. <https://www.tme.eu/Document/9d2eb9f3eda897a378e818dbe183c915/NTCM-10K-B3380.pdf>
25. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.
26. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

27. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ. Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

29. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

30. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень». Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

31. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянute, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758.

32. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160

33. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

34. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

35. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>

36. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

37. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА



Рисунок А.1 – Класифікація засобів вимірювання температури

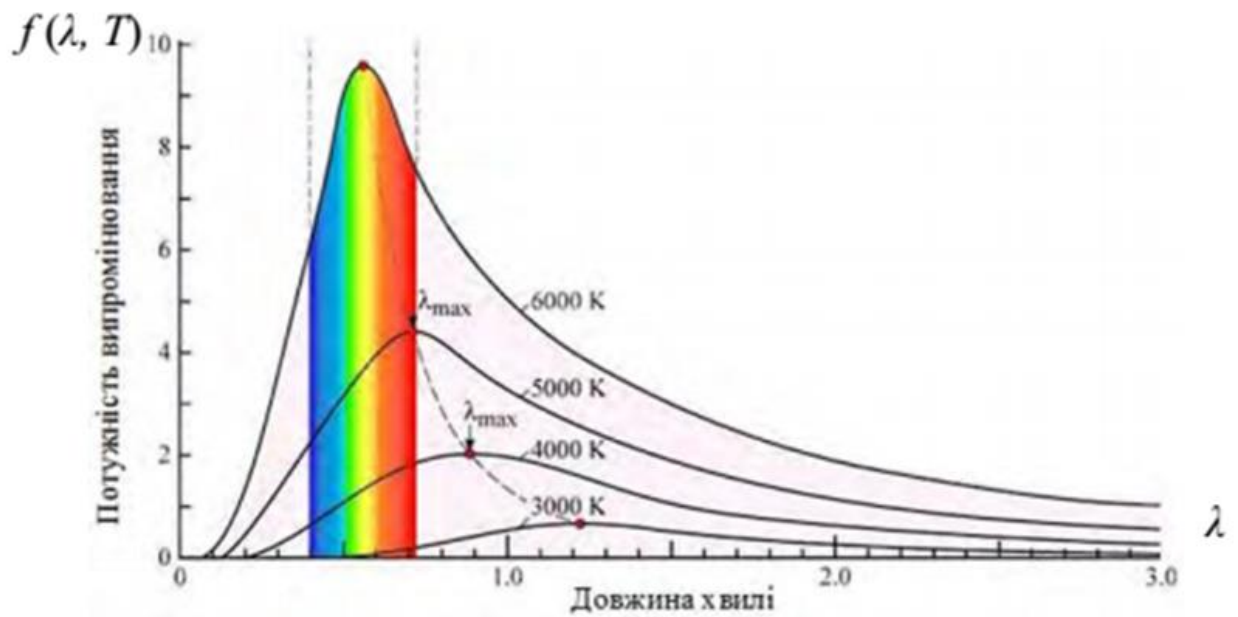


Рисунок А.2 – Спектральний розподіл випромінювання при різних температурах

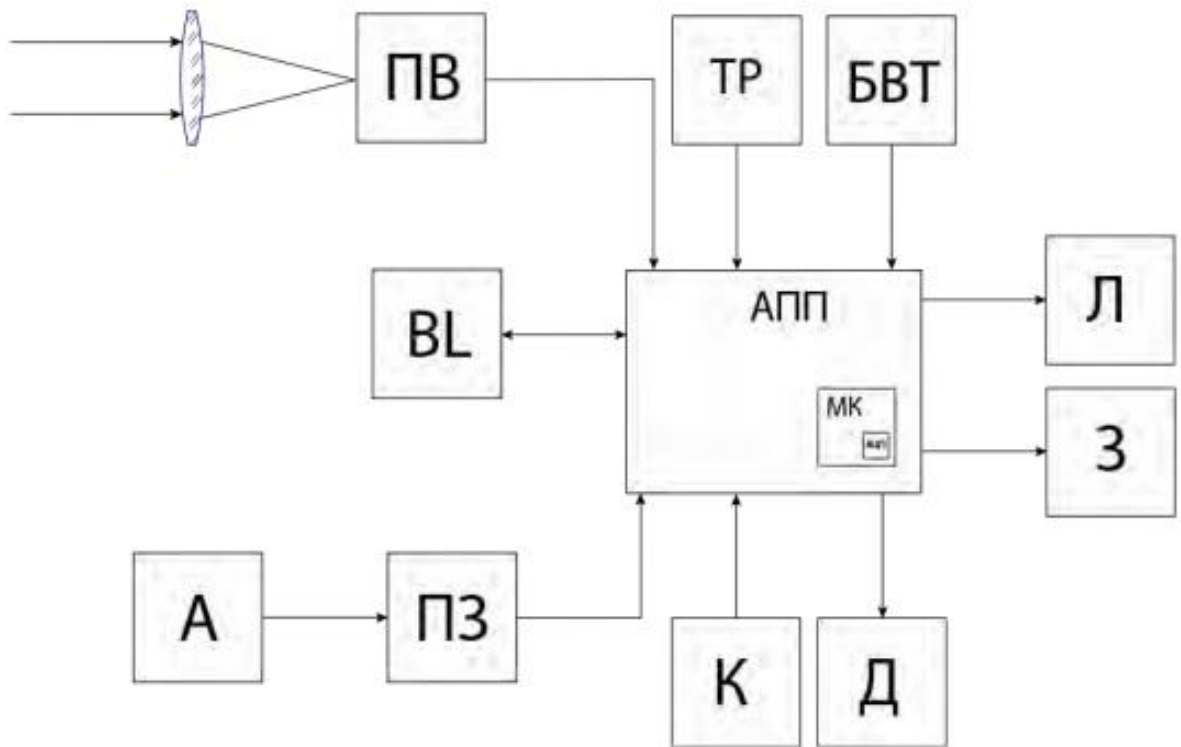


Рисунок А.3 – Схема електрична функціональна пірометра

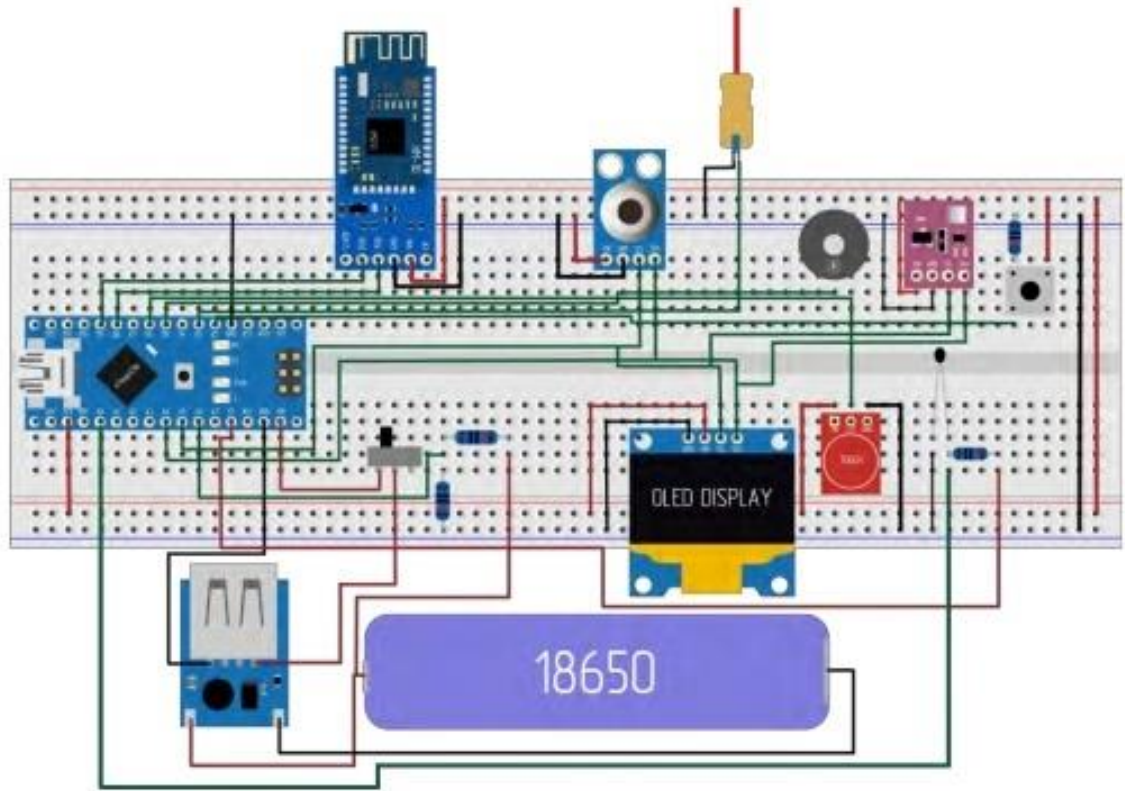


Рисунок А.4 – Модельний макет приладу

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Пристрій для безконтактного вимірювання температури

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 0,31 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

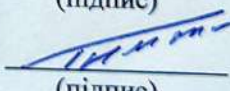
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

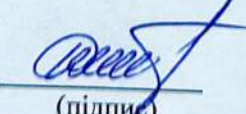
Коваль Л. Г., завідувач кафедри БМІОЕС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Тимчик С. В., гарант ОПП «Біомедична інженерія»
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Штофель Д. Х.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлені:

Керівник


(підпис)

Коваль Л. Г., зав. каф. БМІОЕС
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Устінов Я. А.
(прізвище, ініціали)