

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Дипломний проєкт**  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Роботизовані і автоматизовані системи  
неруйнівного контролю та діагностики»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Комп'ютерно-інтегрований пірометр»

Виконав: студент IV курсу, групи ПК-91 Акуленко Олександр Сергійович \_\_\_\_\_

Керівник: доцент, к.т.н. Лисенко Юлія Юріївна \_\_\_\_\_

Рецензент: доцент, к.т.н. Добролюбова Марина Валеріївна \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2023 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ДП ПК91.9101.000 ПЗ	Пояснювальна записка	65	
2	A3	ДП ПК91.9101.000 Е1	Схема структурна	1	
3	A3	ДП ПК91.9101.000 Е2	Схема функціональна	1	
4	A2	ДП ПК91.9101.000 Е3	Схема електрична принципова	1	
5	A2	ДП ПК91.9101.000 СК	Складальний кресленник	1	
6	A3	ДП ПК91.9101.001	Корпус	1	
7	A4	ДП ПК91.9101.002	Передня кришка	1	
8	A4	ДП ПК91.9101.003	Задня кришка	1	
9	A2	ДП ПК91.9101.004	Алгоритм	1	

				<b>ДПБ.ПК-91.01.1760.01.001 ДП</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробник	Акуленко О.С.			<b>Відомість дипломного проекту</b>	Лист	Листів
Керівник	Лисенко Ю.Ю.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-91	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Комп'ютерно-інтегрований пірометр»**

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Акуленко Олександр Сергійович**

1. Тема роботи «Комп'ютерно-інтегрований пірометр», керівник роботи Лисенко Юлія Юріївна, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. №2057-с \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проєкту «16» червня 2023р.
3. Вихідні дані до проєкту: розробити комп'ютерно-інтегрований пірометр, з діапазоном  $-50^{\circ}\text{C} : +250^{\circ}\text{C}$ , точністю  $\pm 1\%$ , з передаванням інформації на екран смартфона.
4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Основи вимірювання температури: класифікація, фізичні основи та різновиди пірометрів
2. Розрахунок та проектування комп'ютерно-інтегрованого пірометра
3. Підбір допоміжних елементів приладу та проектування корпусу

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік ілюстративного матеріалу, всього 5 листів формату А1, серед них :

1 – Структурна схема(А3)

2 – Функціональна схема(А3)

3 – Складальний кресленик(А2)

4 – Схема електрична принципова(А2)

5 – Алгоритм(А2)

6 – Креслення корпусу(А3)

7 – Креслення передньої кришки(А4)

8 – Креслення задньої кришки(А4)

9 – Ілюстрація та робота розробленого приладу(А1)

10 – Принцип роботи приладу(А1)

7. Дата видачі завдання 15 березня 2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2023	
2	Проведення аналітичного огляду	10.05.2023	
3	Розрахунок параметрів	21.05.2023	
4	Підбір компонентів	28.05.2023	
5	Розробка креслеників	04.06.2023	

Студент

Олександр АКУЛЕНКО

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

## **Анотація**

В даному дипломному проєкті, відбулося проектування комп'ютерно-інтегрованого пірометра з функцією передачі даних на користувацький пристрій у вигляді смартфона на основі операційної системи Android.

В першому розділі проаналізовано теоретичні основи безконтактного вимірювання температури. Розглянуті різні методи визначення температури. Збір готових моделей пірометрів доступних в легкій доступності, та аналізування їх, створення порівняльної характеристики. У наступному розділі розглянуті готові варіанти сенсорів з метою їх використання в даному проєкті. Також розраховані параметри майбутнього пірометра на основі обраного сенсору. Створення функціональної, структурної та принципової схеми. В третьому розділі було спроектовано корпус для приладу на основі обраних елементів приладу, з урахуванням їх монтажу людиною, а не роботом.

*Ключові слова : безконтактне вимірювання температури, пірометр, показник візування, мікроконтролер, датчик.*

## **Annotation**

In this thesis project, a computer-integrated pyrometer with the function of data transmission to a user device in the form of a smartphone based on the Android operating system was designed.

The first chapter analyzes the theoretical foundations of non-contact temperature measurement. Different methods of temperature determination are considered. Ready-made models of pyrometers are collected and analyzed, and a comparative characterization is created. In the next section, ready-made sensor options are considered for use in this project. The parameters of the future pyrometer based on the selected sensor are also calculated. Creation of functional, structural and schematic diagrams. In the third section, a case for the device was designed based on the selected elements of the device, taking into account their installation by a person, not a robot.

*Keywords:* non-contact temperature measurement, pyrometer, visibility index, microcontroller, sensor.

# ЗМІСТ

Вступ .....	10
РОЗДІЛ 1. Основи вимірювання температури: класифікація, фізичні основи та різновиди пірометрів .....	13
1.1. Загальна класифікація .....	13
1.2. Контактні термометри .....	14
1.3. Термометри розширення .....	14
1.4. Термометри опору .....	14
1.5. Термоелектричні термометри .....	15
1.6. Безконтактні термометри .....	16
1.7. Тепловізори .....	16
1.8. Пірометри .....	17
1.9. Переваги безконтактно методу вимірювання температури .....	18
1.10. Фізичні основи пірометрії .....	20
1.11. Різновиди пірометрів .....	26
1.12. Яскравісні пірометри .....	26
1.13. Колірні пірометри .....	29
1.14. Радіаційні пірометри .....	31
1.15. Пристрої безконтактного вимірювання температури .....	33
Висновок до першого розділу: .....	40
РОЗДІЛ 2. Розрахунок та проектування комп'ютерно-інтегрованого пірометра .....	41
2.1. Інфрачервоний датчик .....	41
2.2. Розрахунок параметрів пірометра .....	46
2.3. Передача даних на смартфон .....	50
2.4. Підбір апаратно-програмної платформи .....	52

					<i>ПК 91.9101.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Акуленко О.С.			<b>Комп'ютерно-інтегрований пірометр</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лисенко Ю.Ю.						65
Н. Контр.						<i>ПБФ, ПК-91</i>		
Затверд.		Лисенко Ю.Ю.						



2.5. Функціональна схема.....	55
Висновок до другого розділу:.....	56
РОЗДІЛ 3. Підбір допоміжних елементів приладу та проектування корпусу.....	
корпусу.....	57
3.1.Вибір Bluetooth модулю .....	57
3.2.Підбір елементів живлення, та елементів керування пристроєм ..	58
3.3.Проектування корпусу .....	60
Висновок до третього розділу:.....	62
ВИСНОВКИ.....	63
Література .....	64

## Вступ

У зв'язку зі стрімким розвитком технологій і наукових досягнень, безконтактні вимірювачі температури зайняли важливе місце в сучасному світі. Застосування вимірювання температури в об'єктах і навколишньому середовищі поширене в різних галузях, включаючи медицину, промисловість, науку та побутове використання.

В медицині безконтактні вимірювачі температури дозволяють швидко і точно виміряти температуру пацієнтів без прямого контакту з тілом. Це особливо корисно в умовах, де необхідно забезпечити стерильність, зменшити ризик інфекції або виміряти температуру у великій кількості людей, наприклад, при скринінгу на вхід у лікарні або аеропорту.

У промисловості безконтактні вимірювачі температури використовуються для контролю температури в об'єктах, таких як машини, обладнання, електричні компоненти тощо. Це дозволяє вчасно виявляти перегрів або перевищення допустимих температурних меж і запобігати потенційним пошкодженням або аваріям.

У науці безконтактні вимірювачі температури використовуються для дослідження теплових процесів, вивчення температурних режимів в різних середовищах і матеріалах, а також для вимірювання температур у важкодоступних місцях, де прямий контакт є неможливим або небезпечним.

У побутовому використанні безконтактні вимірювачі температури набули популярності в останні роки. Вони дозволяють швидко та безпечно виміряти температуру об'єктів, таких як їжа, напої, дитячі молочні суміші, а також контролювати температуру в приміщеннях або на вулиці.

У даному дипломному проєкті розглядається розробка безконтактного вимірювача температури, який забезпечує синхронізацію з платформою Android. Ця інноваційна система надає користувачам зручність і точність вимірювання температури, а також дозволяє зберігати та аналізувати дані за допомогою

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

смартфона або планшета.

Основною метою дослідження є розробка компактного та мобільного пристрою, який буде безпосередньо взаємодіяти з платформою Android через спеціальну програму. Це дозволить користувачам отримувати відомості про температуру об'єктів швидко, безпечно та ефективно.

Дипломний проект включає в себе детальний аналіз принципів роботи безконтактних вимірювачів температури, вибір оптимальних методів і технологій, розробку апаратно-програмного комплексу та перевірку його функціональності.

Очікується, що розроблений безконтактний вимірювач температури, синхронізований з платформою Android, буде корисним інструментом для медичного персоналу, промислових робітників, дослідників та звичайних користувачів. Він дозволить здійснювати швидкі та точні вимірювання температури об'єктів з використанням зручного та популярного мобільного пристрою.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. Основи вимірювання температури: класифікація, фізичні основи та різновиди пірометрів

## 1.1. Загальна класифікація

Вимірювання температури є важливим завданням в багатьох галузях науки, технології та повсякденному житті. Від медичних досліджень до контролю технологічних процесів у промисловості, точне вимірювання температури є ключовим фактором для забезпечення ефективності, безпеки та якості.

Класифікація засобів вимірювання температури базується на різних критеріях, таких як принцип вимірювання, спосіб контакту з об'єктом та тип використовуваного приладу [1]. Один із важливих аспектів цієї класифікації полягає у розрізненні контактних та безконтактних методів.

Для кращого уявлення про різноманітність засобів вимірювання температури, наведено на рис 1.1.

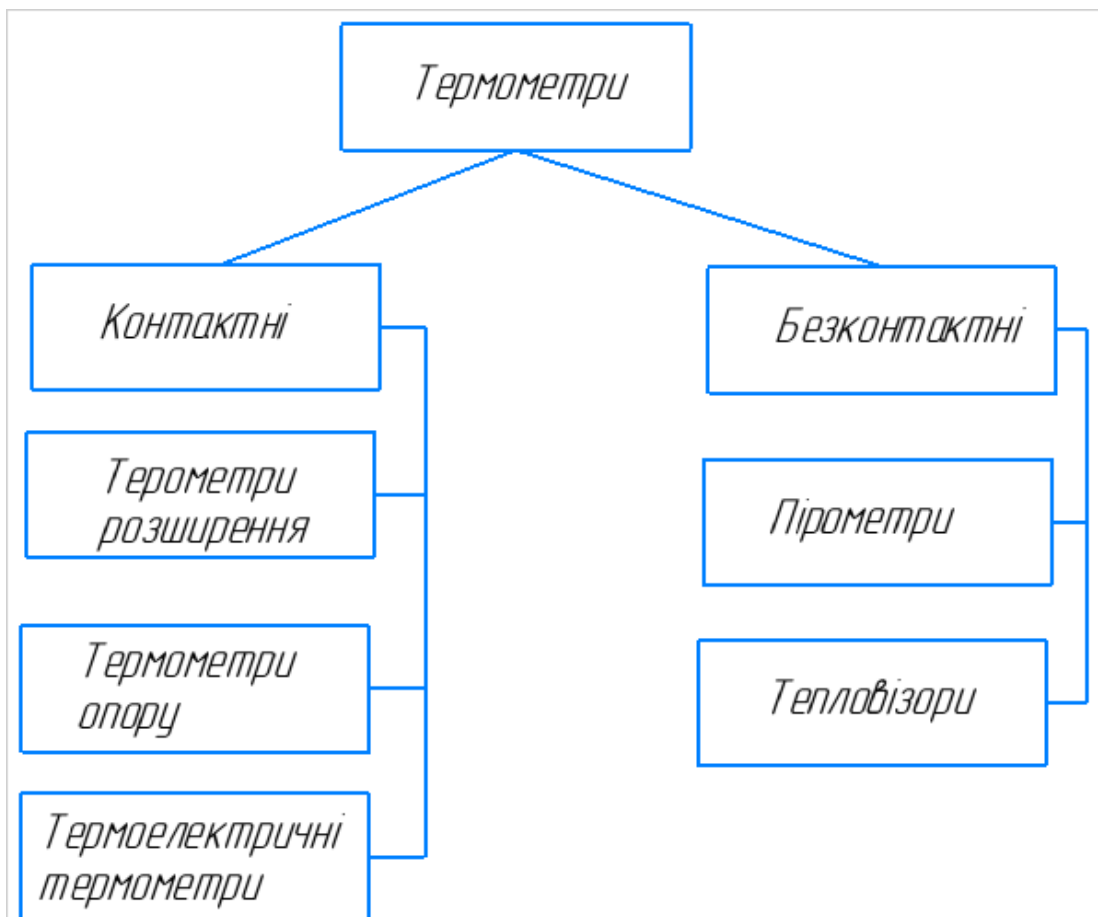


Рис 1.1. Загальна класифікація термометрів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 1.2. Контактні термометри

Контактні пірометри є одним з типів засобів вимірювання температури і використовуються для точного вимірювання температури об'єктів шляхом прямого контакту з ними. Ці прилади вимірюють температуру, базуючись на зміні фізичних властивостей матеріалу при зміні температури.

## 1.3. Термометри розширення

Контактні термометри розширення - це один з видів контактних пірометрів, Принцип роботи контактних термометрів розширення полягає в замірі зміни розміру спеціального елемента при зміні температури. Цей елемент зазвичай представляє собою дрібну тонку проволочку або пружинку [2]. При зміні температури елемент розширюється або скорочується, і ця зміна фіксується за допомогою датчиків або механічних механізмів.

Найпоширенішими матеріалами, що використовуються у контактних термометрах розширення, є метали, такі як платина та нікель. Ці матеріали мають стабільні коефіцієнти термічного розширення, що дозволяє точно виміряти зміни розмірів об'єкта при зміні його температури.

Контактні термометри розширення відзначаються високою точністю та стабільністю вимірювання. Вони широко використовуються у промислових додатках [3], наукових дослідженнях та лабораторних умовах.

## 1.4. Термометри опору

Термометри опору - це тип термометрів, які використовують залежність опору матеріалу від температури для вимірювання температури. Вони базуються на ефекті зміни опору провідника залежно від температури. Цей тип термометрів широко використовується у різних галузях, включаючи промисловість, лабораторні умови, метрологію та інші додатки, де потрібне точне вимірювання температури.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

У термометрах опору використовуються матеріали зі змінним опором при зміні температури. Найбільш поширеними матеріалами є платина, нікель або мідь, які мають стабільну залежність опору від температури.

Принцип роботи термометрів опору полягає в вимірюванні зміни опору провідника при зміні температури. Зміна опору може бути пропорційна зміні температури, що дозволяє використовувати вимірювання опору для визначення температури.

### 1.5. Термоелектричні термометри

Термоелектричні термометри є типом термометрів, які використовують явище термоелектричного ефекту для вимірювання температури. Цей принцип ґрунтується на властивості деяких матеріалів генерувати електричну потенційну різницю при зміні температури.

Термоелектричні термометри складаються з двох або більше провідників, які утворюють термопару. Термопара - це комбінація двох різних металевих провідників, які з'єднані на одному кінці і відокремлені на іншому. Коли на термопару впливає температура, виникає електрична потенційна різниця, що залежить від різниці температур між точками з'єднання провідників.

Термоелектричні термометри працюють на основі принципу "проміжних точок" або "парних точок". У цьому випадку точки зі з'єднання термопари встановлюються на відомих температурах, які використовуються для калібрування та вимірювання температури.

За допомогою термоелектричних термометрів можна вимірювати як високі, так і низькі температури. Вони характеризуються широким діапазоном вимірювання та високою стійкістю. Термоелектричні термометри також мають швидку відповідь на зміни температури.

Застосування термоелектричних термометрів широке і охоплює такі галузі, як промисловість, медицина, лабораторні дослідження, аерокосмічна промисловість та інші. Вони знаходять застосування у вимірюванні температури плавлення металів, контролі температури в харчовій промисловості,

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

дослідженнях в області фізики та інженерії, а також у медичних пристроях для вимірювання температури тіла.

### 1.6. Безконтактні термометри

Безконтактні засоби вимірювання температури базуються на сприйнятті теплового випромінювання [4]. Ці прилади, такі як тепловізори, радіометри та пірометри, широко використовуються для безконтактного вимірювання температури.

### 1.7. Тепловізори

Тепловізори є одним з найпоширеніших типів безконтактних термометрів, які використовуються для вимірювання температури об'єктів. Вони працюють на основі принципу інфрачервоного випромінювання, що випромінюється об'єктами залежно від їхньої температури.

Тепловізори здатні реєструвати і перетворювати інфрачервоне випромінювання на візуальне зображення, де різні температурні зони показані різними кольорами або шкалами. Вони мають вбудовану оптичну систему, яка збирає інфрачервоне випромінювання і передає його до детектора. Детектор перетворює цю інформацію в електричний сигнал, який потім обробляється та відображається на екрані тепловізора.

Одна з ключових переваг тепловізорів полягає в їхній здатності відображати температурну інформацію на відстані без необхідності фізичного контакту з об'єктом. Вони можуть працювати в реальному часі і дозволяють операторам швидко визначати гарячі або холодні точки на поверхні об'єктів.

Тепловізори мають широкий спектр застосувань. Вони використовуються в промисловості для виявлення теплових витоків, пошуку несправностей у електричних системах, контролю якості продуктів, нагляду за тепловим станом машин та обладнання. У медицині тепловізори використовуються для діагностики захворювань, виявлення запалень, оцінки кровообігу та вимірювання температури тіла. Вони також застосовуються в пожежній безпеці,

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

пошуку людей у пошуку та рятувальних операціях, а також у будівництві та архітектурі для оцінки теплових характеристик будівель і структур.

Тепловізори дозволяють отримувати необхідну інформацію про температурний стан об'єктів швидко, безпечно і ефективно. Вони допомагають виявляти проблеми, контролювати процеси та приймати обґрунтовані рішення на основі теплових даних, що робить їх важливим інструментом в багатьох галузях.

### **1.8. Пірометри**

Пірометри - це тип безконтактних термометрів, які використовуються для вимірювання температури об'єктів на основі їх теплового випромінювання. Пірометри вимірюють і реєструють інфрачервоне випромінювання, яке випромінюється об'єктом залежно від його температури.

Принцип роботи пірометрів базується на законах термодинаміки і теплового випромінювання. Об'єкти при певній температурі випромінюють енергію у вигляді електромагнітних хвиль. Інфрачервоне випромінювання, зазвичай в діапазоні від 0,7 до 100 мкм, є основною областю спектра, яку сприймають пірометри.

У пірометрів зазвичай використовуються спеціальні оптичні системи, такі як лінзи або дзеркала, для фокусування інфрачервоного випромінювання на датчику. Датчик може бути заснований на різних принципах, таких як піроелектричні елементи, термопари або бінарні засоби вимірювання. Коли інфрачервоне випромінювання попадає на датчик, воно перетворюється на електричний сигнал.

Пірометри знаходять широке застосування у різних сферах, де вимірювання температури об'єктів є важливим. Ось декілька сфер, де використовуються пірометри:

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



- **Промисловість:** у промисловості пірометри використовуються для вимірювання температури об'єктів, таких як печі, плавильні печі, котли, електроди, трубопроводи та інші промислові установки. Це дозволяє контролювати процеси нагріву, охолодження та термічної обробки матеріалів;
- **Металургія:** у металургійній промисловості пірометри використовуються для вимірювання температури металу під час його плавлення, виплавлення, ковки та волочіння. Це дозволяє забезпечити потрібні температурні режими для отримання високоякісних металевих виробів;
- **Електроніка:** у виробництві електроніки пірометри використовуються для контролю температури під час процесів паяння, припоювання, виготовлення напівпровідників та інших операцій. Це допомагає уникнути пошкоджень компонентів і забезпечити надійну роботу електронних пристроїв;
- **Медицина:** у медичній сфері пірометри використовуються для вимірювання температури тіла пацієнтів без контакту. Це дозволяє швидко та зручно виміряти температуру, що є важливим для діагностики захворювань та контролю стану пацієнтів;
- **Автомобільна промисловість:** у виробництві автомобілів та автомобільних компонентів пірометри використовуються для вимірювання температури двигуна, гальмівних систем, вихлопних газів та інших складових автомобіля. Це допомагає контролювати ефективність та безпеку роботи автомобілів [5].

### 1.9. Переваги безконтактно методу вимірювання температури

- **Безпека і гігієна:** безконтактний вимірювач температури не потребує фізичного контакту з об'єктом або поверхнею, що робить його безпечним і гігієнічним. Це особливо важливо в медичних установах, де мінімізація ризику інфекцій та контамінації є пріоритетом;

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *Віддалений та швидкий замір*: безконтактний вимірювач дозволяє виміряти температуру об'єкта на відстані, що дозволяє зберегти час і зусилля. Він також здатен проводити вимірювання швидко, що особливо корисно при вимірюванні багатьох об'єктів або в ситуаціях, де швидка реакція необхідна;
- *Не впливає на об'єкт*: безконтактний вимірювач температури не впливає на об'єкт, який вимірюється. Це особливо важливо при вимірюванні температури дуже гарячих або рухливих об'єктів, де фізичний контакт може бути небезпечним або неможливим;
- *Вимірювання на великій площі*: безконтактний вимірювач може вимірювати температуру на великій площі або в об'єктах зі складною геометрією, що дозволяє отримувати більш репрезентативні дані;
- *Висока точність і надійність*: сучасні безконтактні вимірювачі температури забезпечують високу точність та надійність результатів [6]. Вони використовують передові технології і алгоритми, що дозволяють компенсувати фактори, такі як вплив оточуючого середовища, рефлексії та інші помилки, що можуть впливати на точність вимірювання;
- *Універсальність застосування*: безконтактні вимірювачі температури можуть бути використані в різних галузях, включаючи медицину, промисловість, науку, будівництво, енергетику та інші. Це робить їх універсальними і багатофункціональними інструментами для вимірювання температури.

Безперечно, використання сучасних пірометрів для вимірювання температури має вагомий набір переваг порівняно зі звичайними контактними термометрами [7]. Пірометри дозволяють проводити вимірювання температури без необхідності зупинки технологічного процесу, що забезпечує неперервність виробничих операцій. Крім того, вимірювання температури може бути здійснене

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з безпечної відстані, що забезпечує захист працівників від можливих небезпек. Використання пірометрів також дозволяє підвищити продуктивність праці завдяки миттєвому виміру температури, що сприяє швидкому та ефективному контролю процесів.

### 1.10. Фізичні основи пірометрів

Вимірювання температури нагрітого тіла здійснюється шляхом аналізу параметрів теплового випромінювання, що представляє собою різні електромагнітні хвилі. Чим більше енергії випромінюється об'єктом, тим вища його температура. Усі нагріті теплі тіла випромінюють теплові промені, вони при певних температурах, зазвичай у діапазоні 500-600 °С, стають видимими для людського ока. Важливо відмітити, що яскравість світіння нагрітого тіла швидко збільшується зі зростанням температури.

Розпалені тверді тіла випромінюють спектральну енергію, що охоплює різноманітні електромагнітні хвилі з різною довжиною. Графічне зображення цього електромагнітного спектра наведено на рисунку 2.1, що дає можливість візуально оцінити його характеристики.

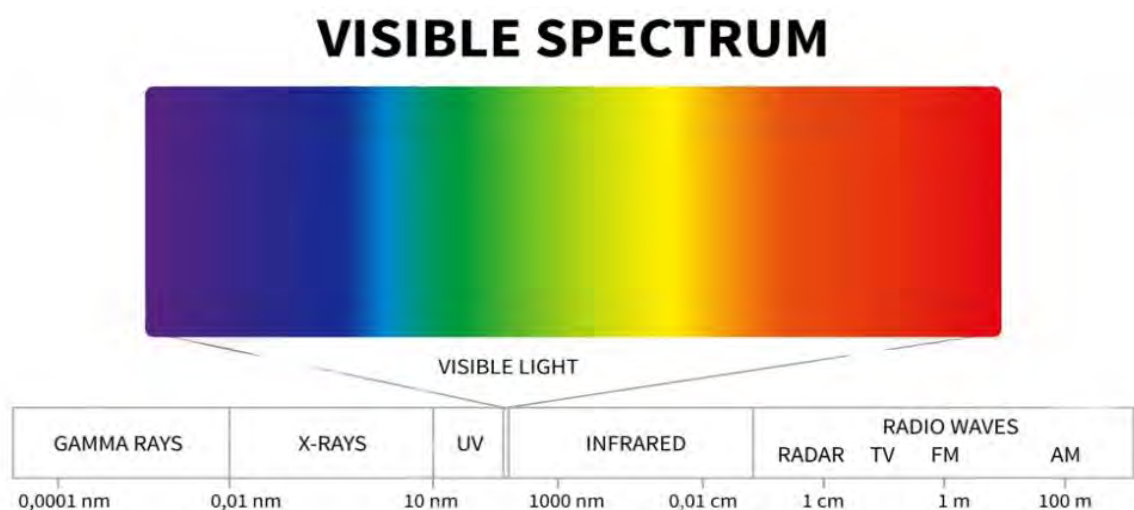


Рис. 1.2. Електромагнітний спектр випромінювання

Електромагнітне випромінювання, яке може бути сприйняте людським оком, представлено вузьким діапазоном спектра шириною всього 0,35 мкм. Цей діапазон включає довжини хвиль від 0,40 до 0,75 мкм. В той же час, існують невидимі промені з довжиною хвиль менше 0,40 мкм, які належать до ультрафіолетової області спектра. Промені з довжиною хвилі від 0,75 мкм до 400 мкм відносяться до інфрачервоної ділянки спектра випромінювання, після якої настає діапазон радіохвиль. У сфері вимірювання температури широко використовуються діапазони видимого спектра, який сприймається людським оком, а також інфрачервоне випромінювання.

Технологія безконтактного вимірювання температури об'єктів на основі їх теплового випромінювання в видимій частині спектру відома як пірометрія. Контроль температури нагрітих тіл заснований на закономірностях, виявлених для чорного тіла. Абсолютним чорним тілом (АЧТ) розуміється тіло, яке повністю поглинає випромінювання будь-якої довжини хвилі, незалежно від температури.

Основою безконтактного вимірювання температури за допомогою пірометрів є закони, на яких ґрунтується теплове випромінювання. Один з основних законів - закон Кірхгофа - застосовується тільки до теплового випромінювання і не поширюється на інші види випромінювання. Суть цього закону полягає в тому, що співвідношення між емісійною здатністю (E) та абсорбційною здатністю (A) матеріалу є постійним для всіх тіл при заданій температурі (T) і не залежить від форми тіла, його хімічного складу та інших факторів.

$$\frac{E(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} = e(\lambda, T) \quad (1.1)$$

Таким чином, коли тіло при певній температурі (T) та довжині хвилі ( $\lambda$ ) поглинає більше енергії, воно випромінює більше енергії при тих же значеннях температури та довжини хвилі. Чорні поверхні, які мають високий ступінь поглинання (чорноти), ефективно поглинають випромінювання і є хорошими випромінювачами. У відміну від цього, блискучі поверхні погано поглинають

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



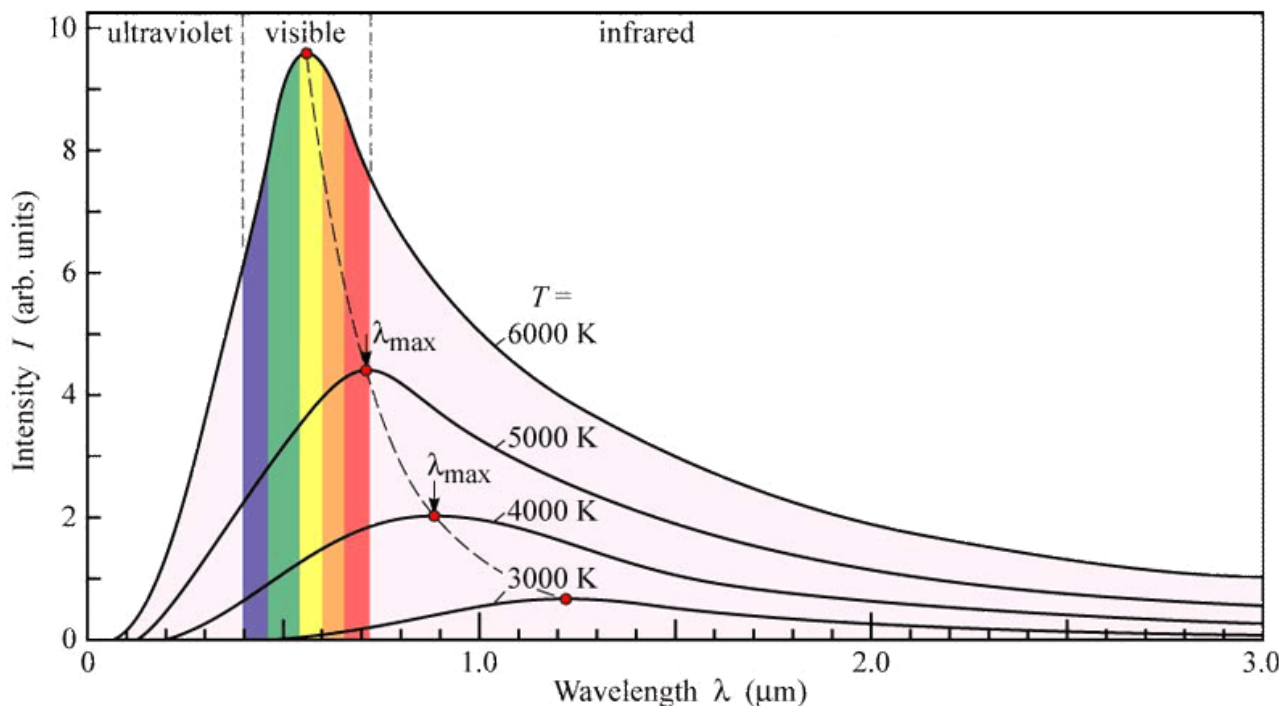


Рис. 1.3. Спектральний розподіл випромінювання при різних температурах

За допомогою термодинамічного підходу, науковий дует Стефана та Больцмана показав, що випромінювальна здатність ( $q$ ) абсолютно чорного тіла залежить від четвертого степеня його абсолютної температури ( $T$ ).

$$q = \sigma * T^4 \quad (1.3)$$

де  $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right) / \text{K}^4$  – стала Стефана-Больцмана.

Закон Стефана-Больцмана показує, що всі об'єкти навколишнього середовища випромінюють енергію, оскільки мають температуру вищу за абсолютний нуль, що дорівнює  $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ . Згідно з цим законом, якщо абсолютна температура збільшується вдвічі, потужність випромінювання збільшується в 16 разів.

Для переходу до сірих тіл потрібно помножити результат на коефіцієнт випромінювання об'єкта, який завжди менше 1. Варто підкреслити, що цей закон стосується лише загальної енергії, що випромінюється.

Німецький фізик Вільгельм Він прийшов до значних результатів у термодинаміці випромінювання. Він вперше сформулював закон, що визначає положення максимуму енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

тіла. Цей закон демонструє, як зміщується максимум енергійного розподілу у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла при зміні температури.

Закон зміщення Віна стверджує, що довжина хвилі ( $\lambda_{\text{макс}}$ ), для якої спостерігається максимальна енергія в спектрі рівноважного випромінювання, зворотно пропорційна абсолютній температурі ( $T$ ) абсолютно чорного тіла.

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{b}{T} \quad (1.4)$$

Де  $b = 2.89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  – стала Віна

Закони Планка і Віна пояснюють явище того, що речовина починає видавати світло в видимому діапазоні при нагріванні. За допомогою цих законів можна бачити, що зі збільшенням температури об'єкта, все більше випромінювання відбувається з коротшими довжинами хвиль. Коли температура досягає близько  $500^\circ\text{C}$ , це випромінювання стає помітним для ока. З іншого боку, при зниженні температури нагрітих тіл, довгохвильове випромінювання починає переважати, що може спричинити зміну колірної температури, наприклад, коли біле світло стає червонуватим при охолодженні металу.

У пірометрії, під час вимірювання температури нагрітого тіла з використанням закону теплового випромінювання, існують три види температур: яскравісна, колірна та радіаційна.

Для даного тіла, яскравісна температура  $T_{\text{я}}$  визначається як та температура, при якій спектральні енергетичні яскравості абсолютно чорного тіла та реального тіла при реальній температурі  $T_{\partial}$  збігаються. Залежність між реальною температурою тіла та яскравісною виражається:

$$T_{\partial} = \left( \frac{1}{T_{\text{я}}} - \frac{\lambda}{C} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}\right) \right)^{-1} \quad (1.5)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання;

$\varepsilon_{\lambda}$  – ступінь чорноти тіла для даної довжини хвилі.

$C$  – стала Віна;

Завжди виконується співвідношення  $0 < \varepsilon_{\lambda} < 1$ , тому яскравісна температура

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фізичних тіл завжди менша за їх дійсну температуру.

Залежність дійсної температури тіла від колірної температури  $T_K$  виражається таким чином, що колірна температура  $T_K$  представляє температуру, при якій відношення енергетичних яскравостей на двох довжинах хвиль  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  дорівнює відношенню енергетичних яскравостей реального тіла з температурою  $T_\theta$  на тих самих довжинах хвиль.

$$T_\theta = \left( \frac{1}{T} - \frac{\ln\left(\frac{\varepsilon_{\lambda_2}}{\varepsilon_{\lambda_1}}\right)}{C \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \right)^{-1} \quad (1.6)$$

де  $\varepsilon_{\lambda_1}, \varepsilon_{\lambda_2}$  – степінь чорноти тіла для довжин хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$ ;

$C$  – стала Віна.

Важливо відзначити, що для сірих тіл, де значення коефіцієнта випромінювання залишається постійним в певному діапазоні спектру (тобто  $\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$ ), колірна температура збігається з дійсною температурою. Ця закономірність підтверджує перевагу використання колірного методу вимірювання температури над радіаційним та яскравісним, оскільки колірна температура завжди буде нижчою за дійсну температуру.

Однак, у випадку тіл (особливо металів), де коефіцієнт випромінювання зменшується зі збільшенням довжини хвилі ( $\varepsilon_{\lambda_2} < \varepsilon_{\lambda_1}$ ), колірна температура буде вищою за дійсну температуру.

Натомість, для неметалічних тіл, де коефіцієнт випромінювання збільшується зі зростанням довжини хвилі ( $\varepsilon_{\lambda_2} > \varepsilon_{\lambda_1}$ ), колірна температура буде нижчою за дійсну температуру.

Формула, що виражає залежність між радіаційною температурою ( $T_p$ ) реального тіла і дійсною температурою ( $T_\theta$ ), визначається наступним чином:

$$T_\theta = T_p \sqrt{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (1.7)$$

де  $\varepsilon$  – ступінь чорноти фізичного тіла для всіх довжин хвиль.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Оскільки значення коефіцієнта випромінювання ( $\epsilon$ ) завжди знаходиться в діапазоні від 0 до 1, радіаційна температура завжди буде меншою за дійсну температуру тіла. Важливо відзначити, що конкретні значення коефіцієнтів випромінювання для різних матеріалів можна знайти в спеціалізованих довідниках або визначити за допомогою спеціальних методів вимірювання.

### 1.11. Різновиди пірометрів

Як вже зазначено, пірометр - це безконтактний пристрій, призначений для вимірювання температури об'єктів. Робота цього пристрою базується на вимірюванні інтенсивності випромінювання, яке відбувається в інфрачервоному та видимому спектральному діапазонах від нагріваних тіл. Принцип полягає у встановленні відношення між цією інтенсивністю випромінювання та температурою, при якій воно спостерігається.

В залежності за принципом дії виділяють такі :

- Пірометри часткового випромінювання, також відомі як яскравісні пірометри, працюють на основі порівняння випромінювання поверхні об'єкта з випромінюванням еталонної нитки, через яку проходить електричний струм. Величина цього струму служить показником температури об'єкта, який вивчається.
- Колірні пірометри, які також відомі як пірометри спектрального відношення, працюють шляхом порівняння енергії яскравості об'єкта з іншими ділянками спектру. Вони використовують щонайменше дві ділянки спектру для вимірювання.

### 1.12. Яскравісні пірометри

Яскравісні пірометри - це тип пірометрів, які використовуються для безконтактного вимірювання температури об'єктів шляхом порівняння їх яскравості з еталонним джерелом. Принцип роботи полягає у порівнянні

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання поверхні об'єкта з випромінюванням еталонної нитки, через яку протікає електричний струм. Яскравість об'єкта залежить від його температури, тому вимірювання сили струму, який проходить через нитку, дозволяє встановити значення температури об'єкта.

Ці пірометри вимірюють температуру шляхом виявлення і аналізу інфрачервоного та видимого випромінювання, яке випромінюється нагріваним тілом. Вони зазвичай використовуються для вимірювання високих температур, які перевищують можливості інших типів пірометрів.

Основною перевагою яскравісних пірометрів є їх висока точність і широкий діапазон вимірювання. Вони можуть застосовуватися в різних галузях, таких як металургія, виробництво скла, кераміки, виробництво полімерів, теплова обробка металів та багато інших.

Важливо враховувати, що для точного вимірювання температури з яскравісних пірометрів потрібна калібрування, оскільки результати можуть бути вплинуті факторами, такими як відблиск, пил, або інші об'єкти, які впливають на яскравість вимірюваного об'єкта.

Загалом, яскравісні пірометри є корисними інструментами для неконтактного вимірювання температури об'єктів, особливо в умовах, коли інші методи вимірювання не ефективні або не можуть бути застосовані.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

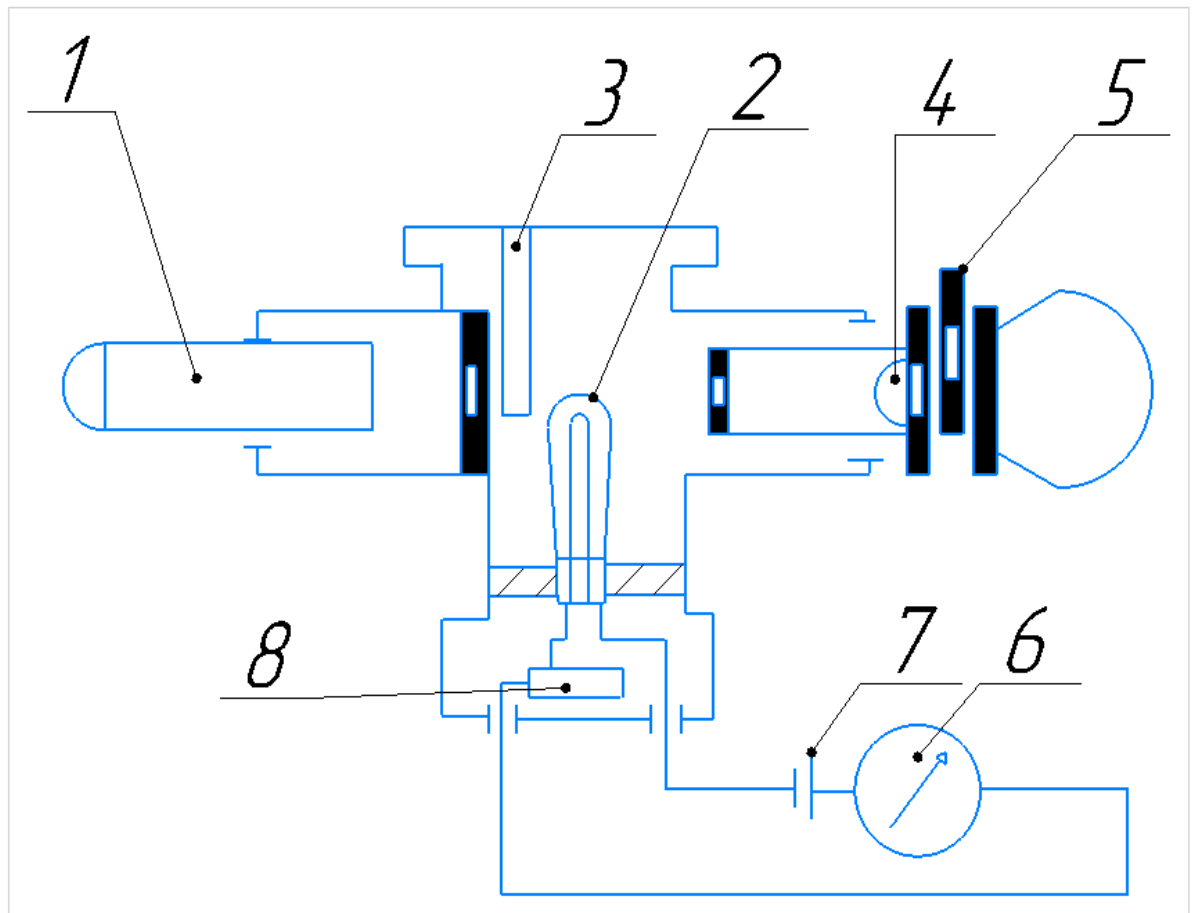


Рис. 1.4. Схема яскравісного пірометра:

1 – лінза об'єктиву; 2 – лампа розжарення; 3 – поглинальний світлофільтр;  
 4 – лінза окуляра; 5 – червоний світлофільтр; 6 – мілівольтметр; 7 – джерело  
 струму; 8 – реостат

Цей тип пірометра має форму телескопа, складається з об'єктиву (1) та окуляра (4). В середині пристрою, у фокусі лінзи об'єктиву, знаходиться розжарена лампа (2) з ниткою у формі підкови (U). Джерелом живлення для лампи є акумулятор (7). Для зміни яскравості розжарювання нитки використовується реостат (8), його функція в даному пристрої полягає у зміні сили струму, який протікає від акумулятора через U-нитку. Щоб отримати монохроматичне світло, окуляр пристрою обладнаний червоним світлофільтром (5), який пропускає промені лише певної довжини хвилі. Для розширення діапазону вимірювання пристрій містить сірий поглинаючий світлофільтр (3). Сама температура визначається за допомогою вбудованого мілівольтметра (6), який має градування в градусах, відповідних розжаренню нитки в лампі (рис. 1.4).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК91.9101.000 ПЗ

Арк.

28

Перед початком вимірювання температури об'єкту, потрібно налаштувати оптичну систему яскравісного вимірювача. Це включає рух об'єктиву для досягнення співпадіння зображень об'єкта та U-нитки в одній площині. Після цього, за допомогою руху окуляра, можна налаштувати чіткість зображень нитки та об'єкта, які підлягають вимірюванню.

Реостат використовується для регулювання розжарювання нитки лампи від акумулятора до тих пір, поки яскравість середньої частини нитки не збігається з яскравістю об'єкта, який ми вимірюємо. У цей момент температура визначається за допомогою мілівольтметра і його шкали.

### 1.13. Колірні пірометри

Колірні пірометри - це тип пірометрів, які використовуються для вимірювання температури об'єктів на основі їх кольорних характеристик. Робота кольорних пірометрів базується на взаємодії світла з поверхнею об'єкта, що нагрівається, і вимірюється спектральний склад випромінювання.

Оптична схема кольорного пірометра зазвичай включає об'єктив, кольорні фільтри і приймач теплового випромінювання. Колірні фільтри використовуються для виділення певних ділянок спектру випромінювання, які пов'язані з конкретними кольорними характеристиками об'єкта. Це дозволяє виміряти і порівняти енергію яскравості об'єкта на різних спектральних ділянках.

Сигнал від приймача теплового випромінювання піддається обробці та математичному перетворенню в електронній схемі пірометра. Результати вимірювання можуть бути відображені на індикаторі або виведені на пристрій реєстрації для подальшого аналізу.

Колірні пірометри широко використовуються у багатьох галузях, зокрема в металургії, енергетиці, хімічній промисловості та наукових дослідженнях. Вони дозволяють точно і безконтактно виміряти температуру об'єктів з різними кольорними властивостями, що робить їх цінними інструментами для контролю температури в різних умовах.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

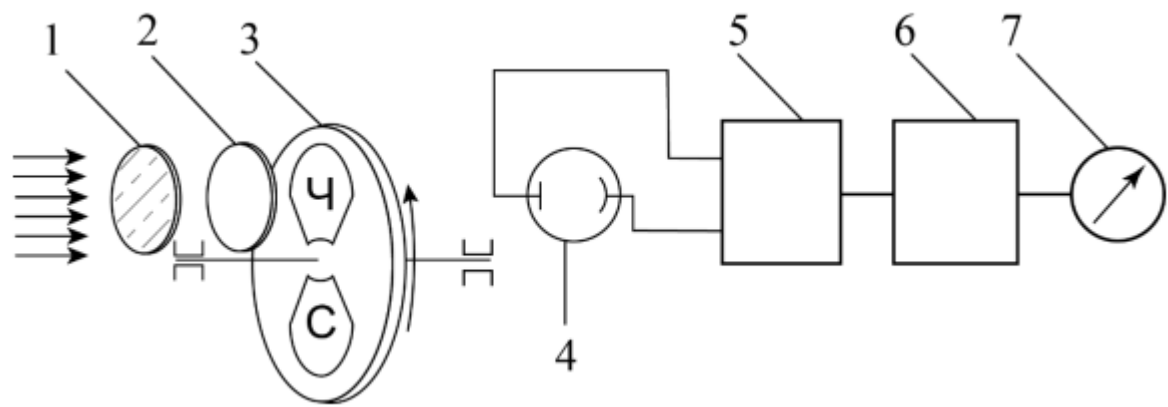


Рис. 1.5. Схема колірного пірометра:

1 – захисне скло; 2 – об’єктив; 3 – обтюратор; 4 – фотоелемент; 5 – електронний посилювач; 6 – логарифмічний пристрій; 7 – мілівольтметр

Колірний пірометр працює на основі визначення співвідношення енергії теплового випромінювання нагрітого об’єкта в двох променях спектру (рис. 1.5). Теплові промені, які випромінює об’єкт через захисне скло (1), оптичний об’єктив (2) і закриття, спрямовуються на фотоелемент (4). Обтюратор, що має округлу форму і містить два вбудованих світлофільтра - червоний (Ч) і синій (С), керований синхронним двигуном, через який випромінювання по черзі проходить.

У колірному пірометрі фотоелемент розташований в термостаті з автоматичним регулюванням, оскільки його спектральні характеристики залежать від температури. Фотострум, чия напругу пропорційної відповідній інтенсивності випромінювання, підсилюється за допомогою електронного підсилювача (5) і перетворюється в постійний струм за допомогою спеціального логарифмічного пристрою (6). Сила вихідного струму пристрою (6) вимірюється мілівольтметром (7) і порівнюється з його шкалою вимірювання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК91.9101.000 ПЗ

Арк.

30

## 1.14. Радіаційні пірометри

Радіаційні пірометри - це тип пірометрів, які використовуються для вимірювання температури об'єктів на основі їх випромінювальних характеристик у віддаленому інфрачервоному діапазоні. Робота радіаційних пірометрів базується на принципі вимірювання радіаційного потоку, який випромінюється об'єктом залежно від його температури.

Оптична схема радіаційного пірометра включає оптичну систему для збору випромінювання з об'єкта та його подальшої фокусування на приймачі. Приймач теплового випромінювання здатний виявляти і вимірювати інфрачервоне випромінювання з об'єкта. Електронна схема пірометра обробляє сигнал від приймача та перетворює його в вимірювану температуру.

Радіаційні пірометри можуть бути використані для вимірювання температури об'єктів у широкому діапазоні, включаючи високі температури та об'єкти, що знаходяться на великій відстані. Вони знаходять застосування у різних галузях, таких як металургія, електроенергетика, скловаріння, кераміка, а також у дослідженнях та наукових лабораторіях.

Однією з переваг радіаційних пірометрів є їхній безконтактний характер, що дозволяє вимірювати температуру об'єктів без фізичного контакту з ними. Це особливо важливо для об'єктів, що перебувають у важкодоступних місцях або знаходяться у високотемпературних середовищах.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

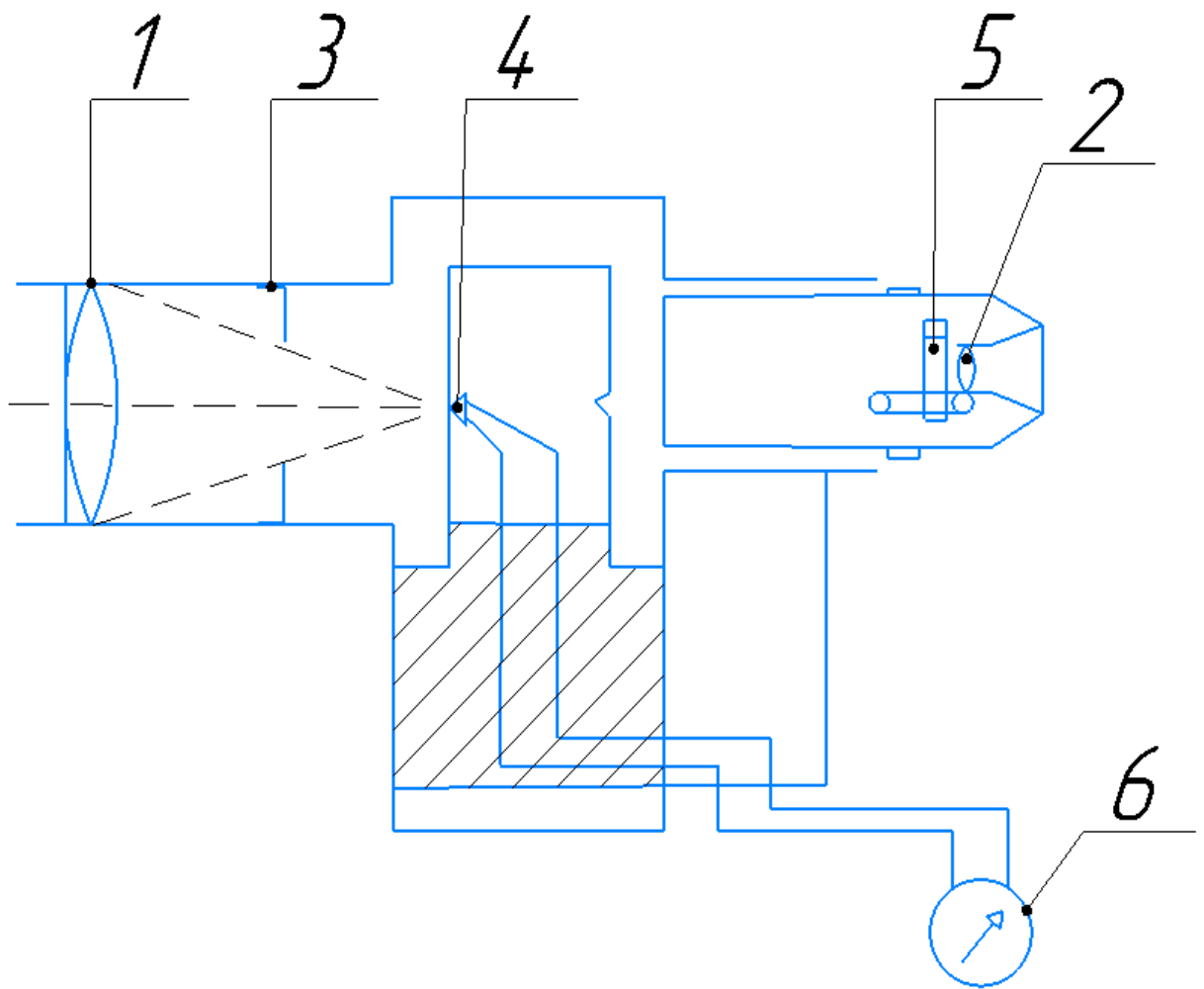


Рис. 1.6. Схема радіаційного пірометра: 1, 2 – лінзи об'єктиву та окуляра; 3 – діафрагма; 4 – термоелектробатарей; 5 – колірне скло; 6 – мілівольтметр

Через лінзу об'єктива (1) та діафрагму (3), теплове випромінювання нагрітого об'єкта проникає до термоелектричної батареї (4), яка нагрівається. Під час нагрівання спаїв термоелемента батареї зафіксовано за допомогою мілівольтметра (6), що дозволяє виміряти температуру об'єкта, що контролюється. Діафрагма радіаційного пірометра встановлена з метою зменшення кількості променів, які падають на термобатарей. Для спостереження за об'єктом дослідження в пристрій вбудовано окуляр (2). Колірне скло (5) використовується для захисту очей під час встановлення пірометра.

При вимірюванні температури тіл радіаційні пірометри можуть виявляти певні неточності, що ускладнюють точний розрахунок кількості енергії, що надходить до теплоприймача через випромінювання. Ці неточності пов'язані з

					ПК91.9101.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплообміном між приймачем і його оточенням. Незважаючи на ці обмеження, радіаційні пірометри широко використовуються у виробництві, оскільки вони можуть бути установлені на постійній основі, що дозволяє дистанційно передавати, фіксувати і регулювати показники температури.

### 1.15. Пристрої безконтактного вимірювання температури

На сучасному ринку існує широкий спектр безконтактних вимірювачів температури, що відрізняються за різними технічними характеристиками, цінами, дизайном, компактністю, наявністю додаткових функцій, програмним забезпеченням, наявністю мобільних додатків та іншими особливостями.

#### FLUKE 62 MAX+

FLUKE 62 MAX+ є одним із популярних безконтактних інфрачервоних пірометрів від компанії Fluke. Він призначений для швидкого та зручного вимірювання температури об'єктів без необхідності прямого контакту з ними. Ось декілька ключових особливостей FLUKE 62 MAX+:

- **Діапазон вимірювання:** Пірометр має широкий діапазон вимірювання температур від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+650^{\circ}\text{C}$  ( $-22^{\circ}\text{F}$  до  $+1202^{\circ}\text{F}$ ), що дозволяє використовувати його в різних застосуваннях.
- **Точність:** FLUKE 62 MAX+ забезпечує високу точність вимірювання, заявлену від  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  або  $\pm 1\%$  від зчитання, залежно від того, яка значення більше. Це забезпечує надійні результати вимірювання.
- **Подвійний лазерний промінь:** Інфрачервоний пірометр оснащений подвійним лазерним променем, який допомагає точно спрямовувати пристрій на об'єкт, що вимірюється. Це полегшує процес спрямування та позиціонування.
- **Мінімальний та максимальний режими:** FLUKE 62 MAX+ має функцію зафіксування мінімального та максимального значень температури, що

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



дозволяє відслідковувати мінімальні та максимальні значення під час вимірювання.

- Індикатор зеленого світла: Пірометр має індикатор зеленого світла, який вмикається, коли пристрій спрямований на об'єкт з оптимальною зоною вимірювання. Це допомагає забезпечити точніші результати вимірювання.
- Захист від пилу та води: FLUKE 62 MAX+ має високий рівень захисту від пилу та води (IP54), що робить його стійким до роботи в умовах забруднення або вологи.
- Збереження даних: Пірометр має можливість збереження даних, що дозволяє зберігати результати вимірювання для подальшого аналізу або документування [8].

FLUKE 62 MAX+ є надійним та зручним пірометром для вимірювання температур в різних сферах, таких як електрика, опалення, вентиляція, автомобільний сервіс та інші. Його висока точність, широкий діапазон вимірювання та додаткові функції роблять його популярним вибором серед фахівців.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.7. Загальний вигляд пірометра FLUKE 62 MAX+

### Testo 830-T2

Testo 830-T2 є одним з безконтактних вимірювачів температури, які пропонує компанія Testo. Цей пристрій має деякі особливості і технічні характеристики, які роблять його популярним серед користувачів.

Основна функція Testo 830-T2 - безконтактне вимірювання температури об'єктів. Він працює на основі інфрачервоного випромінювання, що дозволяє здійснювати вимірювання з деякої відстані без необхідності контакту з об'єктом.

Деякі ключові особливості Testo 830-T2 включають наступне:

- Діапазон вимірювання температури: від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ .
- Двомірний лазерний маркер для точного спрямування на об'єкт.
- Широкий кут огляду для зручного вирішення завдань вимірювання.
- Можливість вибору одиниць вимірювання ( $^{\circ}\text{C}$  або  $^{\circ}\text{F}$ ).
- Зручний інтерфейс з чітким дисплеєм та інтуїтивно зрозумілими

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

кнопками управління.

- Швидкий вимірювальний час та точність вимірювання [9].

Testo 830-T2 може використовуватися в різних галузях, включаючи промисловість, будівництво, електротехніку, опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря. Його портативний дизайн та зручність в експлуатації роблять його популярним інструментом для вимірювання температури.



Рис. 1.8. Загальний вигляд пірометра Testo 830-T2

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Omega OS530E Series

Omega OS530E Series є одним з безконтактних вимірювачів температури, вироблених компанією Omega Engineering. Ця серія пропонує широкий спектр моделей з різними технічними характеристиками та функціональними можливостями.

Основна мета Omega OS530E Series - надати точні та надійні вимірювання температури об'єктів без контакту з ними. Ці пристрої використовують технологію інфрачервоного випромінювання, що дозволяє отримувати вимірювання на відстані безпосередньо від об'єкта.

Деякі особливості та характеристики Omega OS530E Series можуть включати:

- Широкий діапазон вимірювання температури, який залежить від конкретної моделі.
- Різні сполучення оптики, такі як спот-великий пляма, спот-малий пляма, відео-прицільний пункт та інші, що дозволяють вибрати потрібну опцію в залежності від потреб застосування.
- Інтерфейс з чітким дисплеєм та можливістю налаштування параметрів вимірювання.
- Додаткові функції, такі як збереження даних, реєстрація температурних профілів, аналіз даних та інші, які роблять ці пристрої більш універсальними та функціональними [10].

Omega OS530E Series може бути застосований у різних галузях, включаючи наукові дослідження, промислове виробництво, контроль якості, технічне обслуговування та інші. Завдяки своїм технічним можливостям та високій якості вимірювань, пристрої з серії Omega OS530E становлять надійний інструмент для вимірювання температури в різних сценаріях застосування.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рис. 1.9. Загальний вигляд пірометра Omega OS530E Series

### Порівняльні характеристики

Порівняємо та проаналізуємо технічні характеристики розглянутих термометрів та зведемо отримані дані в табл. 1.1.

*Таблиця 1.1.*

### Порівняльна характеристика аналогів обраного пірометра

Характеристика	FLUKE 62 MAX+	Testo 830-T2	Omega OS530E
Температурний діапазон	-30°C до +650°C	-30°C до +400°C	-50°C до +1000°C
Робоча температура	0...50°C	-10...50°C	-10°C до +50°C
Точність вимірювання	±1% або ±1°C	±1.5% або ±1.5°C	±1% або ±1°C
Оптична роздільна здатність	20:1	10:1	12:1
Коефіцієнт емісії	-	0.10 до 1.00	0.10 до 1.00
Час вимірювання	Менше 500 мс	Менше 1 с	150 мс
Довжина хвилі	8 μm до 14 μm	8 μm до 14 μm	8 μm до 14 μm
Розширення	0.2°C	0.3°C	0.1°C
Дисплей	З підсвічуванням	З підсвічуванням	З підсвічуванням
Живлення	Батареї	Батареї	9 В акумулятор або мережа
Розмір	190 × 38 × 45 мм	140 × 36 × 25 мм	193 x 104 x 60 мм
Вага	200 г	120 г	290 г
Наявність лазерної прицілювача	Так	Так	Так

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК91.9101.000 ПЗ

Арк.

38

На базі цієї таблиці загальний висновок може бути наступним:

Існує широкий вибір безконтактних пірометрів на ринку з різними технічними характеристиками. Кожен з пірометрів - FLUKE 62 MAX+, Testo 830-T2 та Omega OS530E - має свої переваги і особливості. При виборі пірометра для конкретних потреб важливо враховувати температурний діапазон, точність вимірювання, оптичну роздільну здатність, коефіцієнт емісії, час вимірювання, дисплей, живлення, розмір та вагу, а також інші параметри, що впливають на виконання завдань і задоволення вимог користувача.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## Висновок до першого розділу:

Пірометри мають значні переваги перед контактними термометрами, оскільки дозволяють виміряти температуру на відстані, швидко отримувати інформацію про температуру і мають широкий діапазон вимірювання високих температур. Тому ці пристрої знаходять широке застосування та користуються популярністю серед різних користувачів.

Дослідження основних принципів пірометрії дало можливість класифікувати їх за різними видами відповідно до принципу роботи.

Аналіз різних видів пірометрів, їх схем і принципів дії, а також огляд їх переваг і недоліків, дозволив зробити вибір у вигляді розробки радіаційних пірометрів. Ці пристрої є компактними, простими у будові і легко інтегруються з мобільними додатками.

Зараз автоматизація процесів набуває все більшої популярності, тому поєднання пірометрів з мобільними додатками для автоматизації процесу вимірювання температури є ефективним рішенням. Це забезпечує безпечні умови та комфорт користувачів під час вимірювання температури, а також дозволяє отримати високоточні результати вимірювань в короткі строки.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 2. Розрахунок та проектування комп'ютерно-інтегрованого пірометра

### 2.1. Інфрачервоний датчик

Для опрацювання поставленого завдання необхідно підібрати відповідний датчик для комп'ютерно-інтегрованого пірометра. Він має давати забезпечення отримання надійних та точних вимірювань температури. При виборі сенсору потрібно враховувати такі фактори :

- Діапазон вимірювання : він має бути приблизно в межах  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ . Цього діапазону буде достатньо для більшості виробних процесів, побутових та дослідницьких потреб;
- Точність : щоб отримувати достовірні результати точність має бути приблизно  $\pm 2\%$  від вимірюваної температури;
- Доступність : обраний датчик має бути в великій кількості на ринку, та мати стабільні постачання. Також слід враховувати адекватну ціну;
- Час реакції : потрібно враховувати швидкість технологічних процесів, швидкість має бути приблизно 100 мс;
- Додаткові функції : гарним доповненням будуть додаткові служби сенсору.

Зважаючи на ці вимоги, вибір падає на датчики :

- MLX90614 компанії Melexis;
- TMP006 компанії Texas Instruments;
- MAX31856 компанії Maxim Integrated.

MLX90614 являється сенсором інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, розроблений компанією Melexis. По суті дає вигідну пропозицію альтернативним більш дорогим вискоякісним датчикам, та дає велику доступність середньостатистичному користувачеві. Зазвичай, він використовується у системах промислового контролю температури, та дозволяє

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



надавати контроль температури в технологічних процесах. Особливості сенсору MLX90614 :

- Висока точність : датчик має точність від  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Це дозволяє отримувати надійні результати вимірювання;
- Швидка відповідь і спрощений інтерфейс: датчик має швидку час відповіді, що дозволяє швидко отримувати результати вимірювання. Він також має спрощений інтерфейс зв'язку, такий як I2C, що спрощує його інтеграцію з мікроконтролерами і платформами;
- Низьке енергоспоживання: MLX90614 споживає дуже мало енергії, що дозволяє економити батарейне живлення і забезпечує довгу роботу без необхідності заміни батарей;
- Не потребує калібрування до конкретних температурних діапазонів, це дає змогу забезпечити більш гнучку зручність та зменшить експлуатаційні витрати;
- Чотирьох-контактний корпус TO39;
- Великий температурний діапазон вимірювальної температури :  $-80^{\circ}\text{C}$  до  $+350^{\circ}\text{C}$ . Такий діапазон вимірювання дозволяє використовувати його як низьких так і високих температур;
- Оновлює данні до 1Гц (герц);
- Двоканальна структура: MLX90614 має два вбудованих датчика - один для вимірювання температури об'єкта і другий для вимірювання температури самого датчика. Це дозволяє компенсувати вплив температурних змін на сам датчик і забезпечує більш точні результати вимірювання [11].

На Рис 2.1. можна розглянути точність сенсору в залежності від температури об'єкту та температури самого корпусу :

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

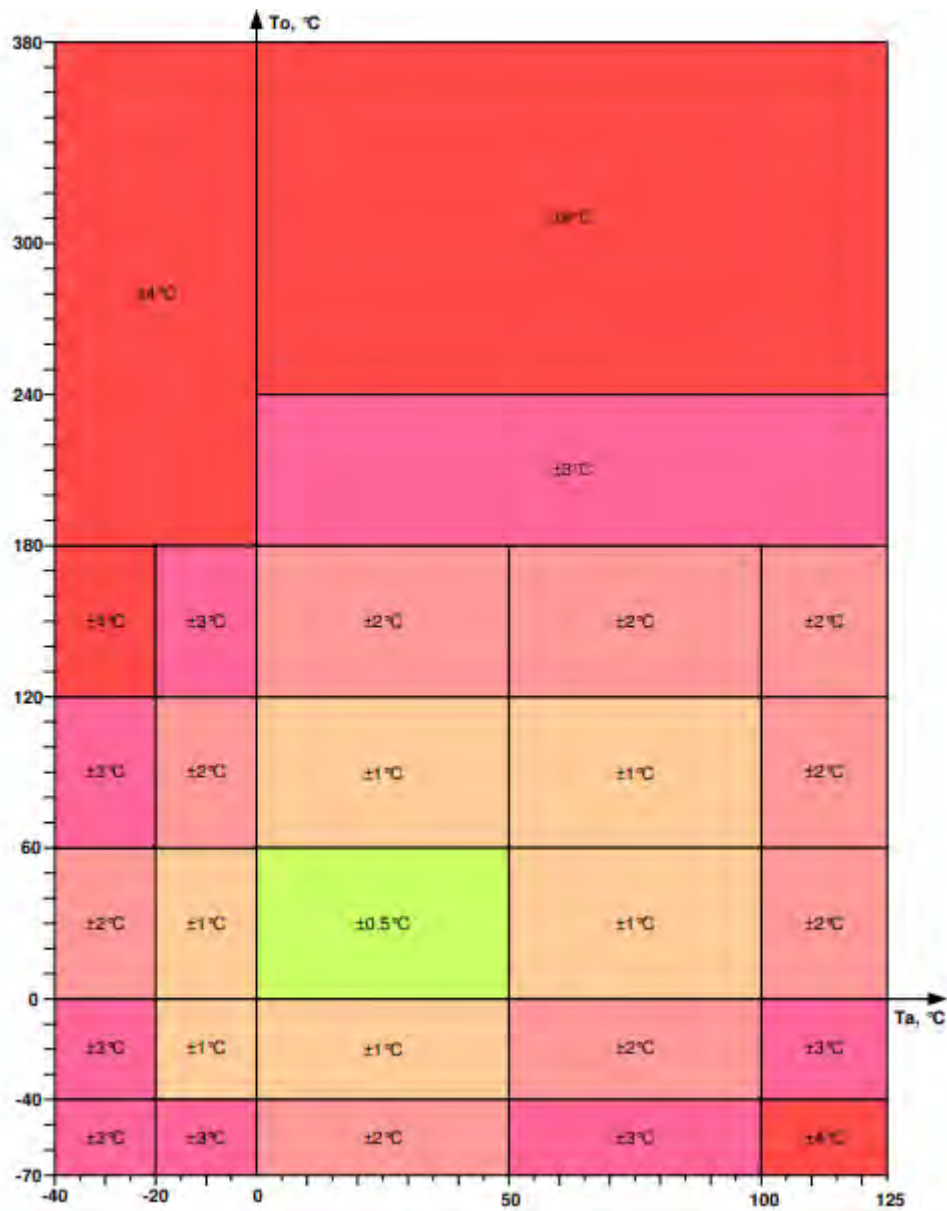


Рис. 2.1. Залежність точності в координатах  $T_o$  °C. (температуру ОК) та  $T_a$  °C. (тепература корпусу самого датчику)

Також розглянемо на Рис. 2.2. точність в рамках 20-40°C, цей температурний діапазон цікавий нам через те, що цей розподіл температур притаманний людському тілу, та окремим його частинам :

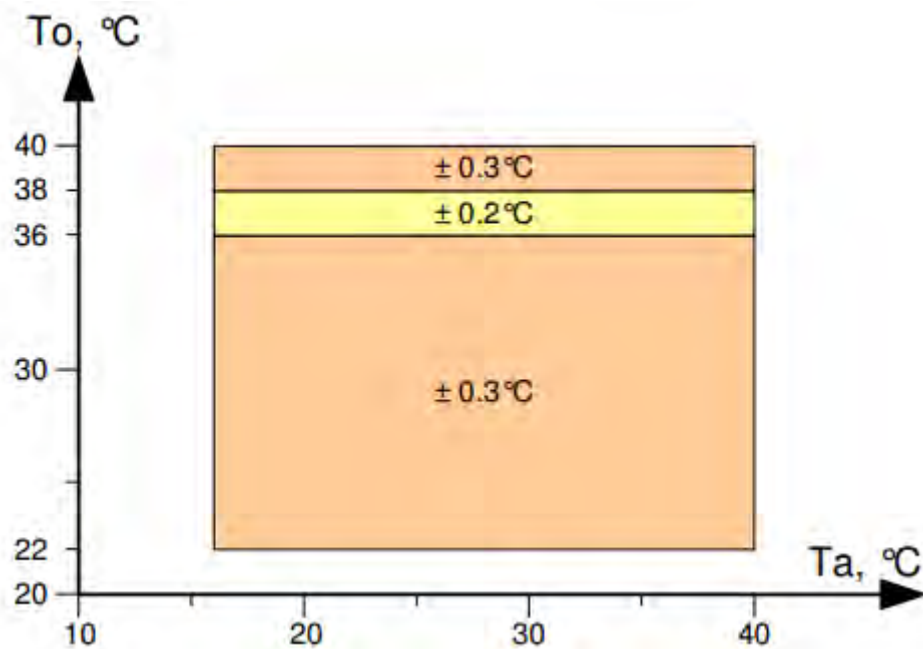


Рис. 2.2. Розподіл точності в рамках температури людського тіла

TMP006 від компанії Texas Instruments це ІЧ сенсор призначенням якого являється вимірювання температури об'єктів контролю шляхом вимірювання їх інфрачервоного випромінювання. Через свої доволі малі розміри часто використовується в побутових та промисловості де важливі маленькі розміри сенсору для доступу в важкодоступні місця.

Особливості ІЧ сенсору TMP006 :

- Широкий діапазон вимірювання: TMP006 може вимірювати температуру від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . Це широкий діапазон, що робить його придатним для багатьох різних застосувань;
- Маленькі розміри: Сенсор TMP006 має компактний розмір і низьку витрату енергії. Це дозволяє легко інтегрувати його в різні пристрої і системи, такі як мобільні телефони, планшети, промислові контролери і т.д;
- Низька споживана потужність: TMP006 має дуже низьку споживану потужність, що робить його енергоефективним. Це особливо важливо для портативних пристроїв, де тривале функціонування від батареї є критичним;

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Додаткові можливості: TMP006 також має додаткові функції, такі як вимірювання температури мікросхеми, датчика звуку або температури навколишнього середовища [12].

Через свої розміри та низьку споживну потужність, він є пріоритетним для нашої портативної системи.

MAX31856 від компанії Maxim Integrated є сенсором високої точності вимірювання температури. Також доволі популярний датчик в подібних проектах та в використанні користувачів. Але являється більш дорогим за вищесказані сенсори. Майже в три рази більше коштує ніж MLX90614 та в два рази за TMP006. Використовується більше в промислових та дослідницьких цілях, для побутових процесів має забагато функцій, та побутові справи не потребують такої точності та діапазону.

Особливості MAX31856 :

- Діапазон вимірювання: Вимірює температуру в діапазоні від -270°C до +1372°C (-454°F до +2501°F). Це дуже виский діапазон, який дає йому велику популярність в використанні на промисловості, де потрібно контролювати процеси надвисокої температури;
- Точність : забезпечує точність на рівні  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ , така точність дозволяє отримувати дуже високу точність вимірювань, що дуже корисно для дуже вимогливих потреб;
- Інтерфейс комунікації: сенсор підтримує інтерфейс SPI для зручної комунікації з мікроконтролером або іншими пристроями. Це дозволяє легко інтегрувати MAX31856 в вашу систему;
- Додаткові функції: MAX31856 має додаткові функції, такі як перевірка цілісності термопари, виявлення розриву цепи, захист від перевантаження та індикація помилок. Ці функції роблять його надійним і зручним у використанні [13].

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опираючись на поставленні задачі в проекті комп'ютеро-інтегрованого пірометра, нам потрібно враховувати вищесказні параметри на які ми будемо опиратись. МАХ31856 має дуже великий діапазон вимірювання, що значно перевищує ті, що нам потрібні, також має велику точність, але за це все розплачуємось ціною та доступністю, його потрібно замовляти тільки під замовлення, зазвичай, його не знайти в спеціалізованих для цього магазинах. ТМР006 навпаки має трішки менші показники за ті, що потрібні, але ціна майже в два рази перевищує за MLX90614. Це зв'язано, що він не настільки популярний, як той же самий MLX90614. У нього є переваги над MLX90614 через те, що він потребує набагато менше енергетичної потужності. З цього слід дійти висновку, що MLX90614 підходить для проекту ідеальний. Він доступний, у нього ціна найнижча із запропонованих, також дуже малі розміри, що буде плюсом в збірці приладу.

## 2.2. Розрахунок параметрів пірометра

### Показник візування

Під час роботи з безконтактними інфрачервоними пірометрами, зіткнуємось з поняттям, що таке «Відношення відстані до плями». Відношення відстані до плями (D:S) - це відношення відстані між датчиком і об'єктом до розміру об'єкта, що вимірюється. Наприклад, співвідношення D:S дорівнює 12:1, це буде, що об'єкт діаметром 1 см можна виміряти на відстані 12см. На рисунку 2.3. наведено візуальний приклад показника візування :

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

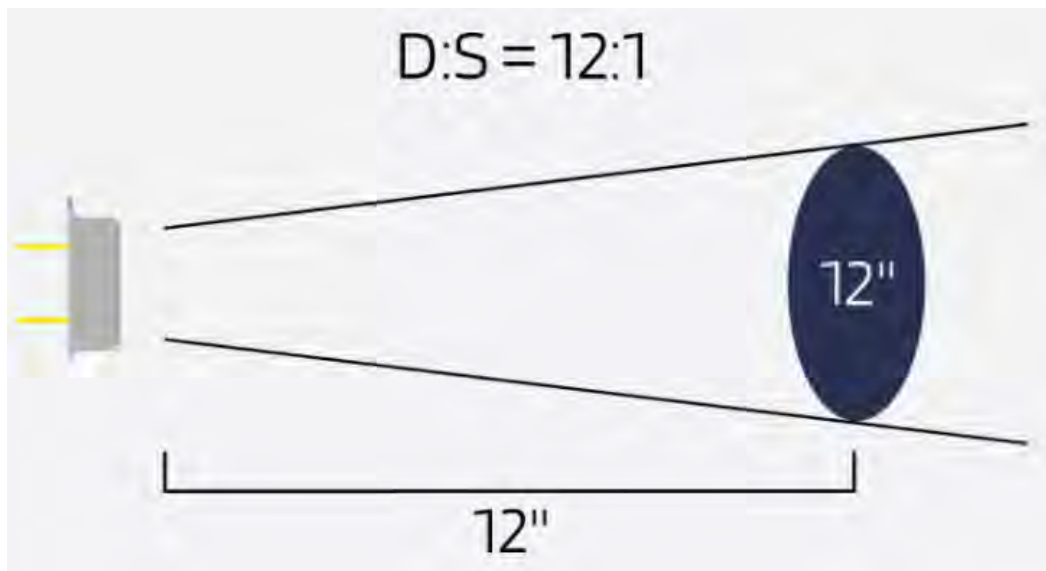


Рис. 2.3. Приклад показника візування в 12:1

Якщо співвідношення D:S низьке, то для більш точного зчитування об'єкт повинен бути достатньо близько до датчика. У ситуації, коли об'єкт має високу температуру, більш високе співвідношення D:S є кращим з точки зору безпеки. Показання температури можуть бути неточними, якщо об'єкт розміщено на відстані, що виходить за межі співвідношення D:S. Після деякого віддалення від датчика показники температури починають падати. Це відбувається тому, що розмір об'єкта не повністю заповнює поле зору (FOV) датчика. Датчик фіксує все інфрачервоне випромінювання в зоні FOV і повертає середнє значення температури в цій зоні.

Розрахунок показника візування для об'єктивного ІЧ датчика

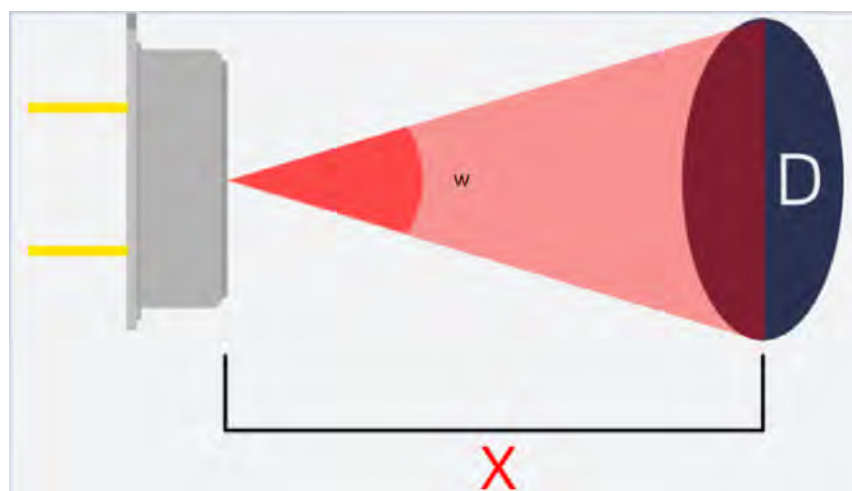


Рис. 2.4. Розрахунок показника візування

На рисунку 2.4.,  $X$  - це максимальна відстань, на якій слід розмістити об'єкт, щоб отримати температуру, близьку до температури об'єкта,  $\omega$  – поле зору сенсору,  $D$  – розмір об'єкту.

Розрізавши трикутник навпіл, отримуємо прямокутний трикутник.

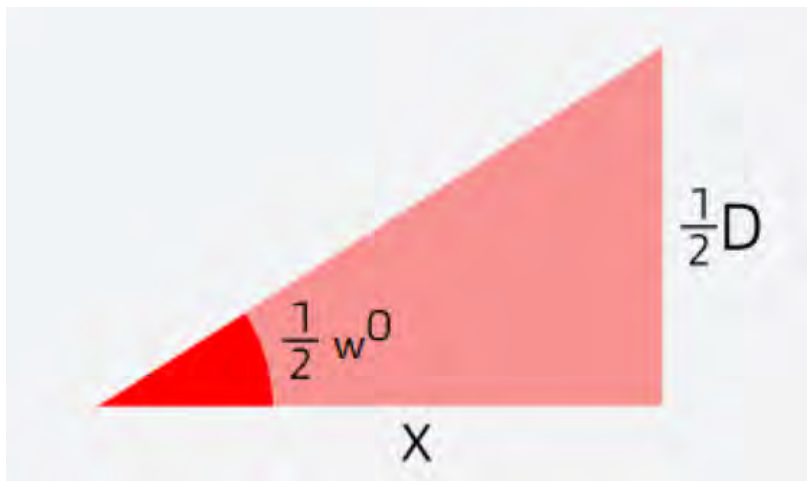


Рис. 2.5. Розрахунок максимальної відстані  $X$

Використовуємо формулу тангенса кута нахилу, щоб отримати відстань "X".

$$tg\left(\frac{1}{2}\omega^0\right) = \frac{\frac{1}{2}D}{X} \quad (2.1)$$

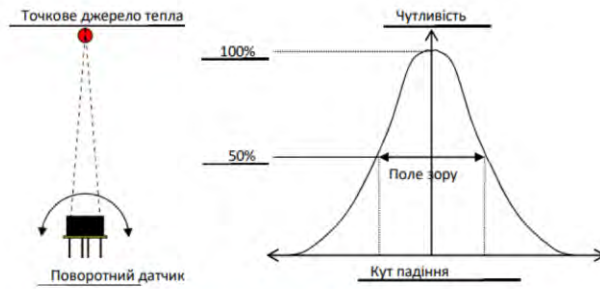
З формули 2.1. отримуємо :

$$X = \frac{\frac{1}{2}D}{tg\left(\frac{1}{2}\omega^0\right)} \quad (2.2)$$

Спростивши формулу 2.2. отримуємо :

$$X = \frac{D}{2tg(\omega^0)} \quad (2.3)$$

Для того, щоб отримати співвідношення відстані до точки, нам потрібне поле зору датчика. У моделі MLX90614, кут огляду становить 90 градусів. Припустивши, що об'єкт має діаметр 1 см, підставимо всі значення у отриману формулу, щоб отримати відношення відстані до плями для цього датчика MLX90614.



Малюнок 28: Вимірювання поля зору

Параметр	Тип xAA	Тип xBA	Тип xCC	Тип xCF	Тип xCH	Тип xCI	Тип xCK
Пікова зона 1	0°	+25°	0°	0°	0°	0°	0°
Зона ширини 1	90°	70°	35°	10°	12°	5°	13°
Пікова зона 2	NA	-25°	NA	NA	NA	NA	NA
Зона ширини 2		70°					

Рис. 2.5. Поле зору сенсору MLX90614 дорівнює 90°

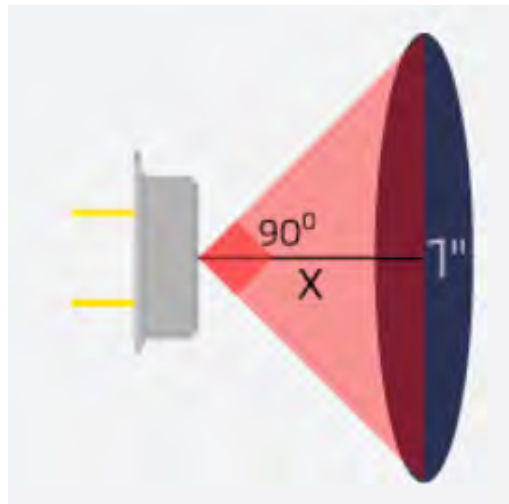


Рис. 2.6. Підставляємо значення

Оскільки ми маємо всі значення для розрахунку  $X$ , використовуємо вище сказанні формули :

$$X = \frac{1}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ}{2}\right)} \quad (2.4)$$

$$X = 0.5 \quad (2.5)$$

$$D : S = 3 : 6 \quad (2.5)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата





- Низьке споживання енергії: Bluetooth може працювати на низькій потужності, що є важливим для пристроїв з обмеженим джерелом живлення, таких як безконтактний пірометр;
- Доступність: Майже всі нові смартфони та багато електронних пристроїв підтримують Bluetooth, що робить його широко доступним для використання.

Але варто не забувати також про мінуси такого способу передачі даних на смартфон :

- Обмежений діапазон передачі: Bluetooth зазвичай працює на відстані до 10 метрів, тому передача даних може бути обмежена в межах цього діапазону;
- Обмежена швидкість передачі: Швидкість передачі даних через Bluetooth може бути повільнішою порівняно з іншими протоколами, такими як Wi-Fi.

### Wi-Fi

Wi-Fi - це ще один популярний бездротовий протокол передачі даних, який має більший діапазон передачі порівняно з Bluetooth. Використання Wi-Fi для передачі даних з безконтактного пірометра на смартфон має свої переваги:

- Великий діапазон передачі: Wi-Fi може працювати на відстані до кількох сотень метрів, залежно від середовища. Це дає більшу свободу переміщення пристроїв;
- Висока швидкість передачі даних: Wi-Fi зазвичай забезпечує вищу швидкість передачі даних порівняно з Bluetooth, що дозволяє швидко передавати значення пірометра на смартфон;
- Підтримка більшої кількості пристроїв: Wi-Fi мережі можуть підтримувати більше підключених пристроїв одночасно, що може бути корисним у випадку, якщо ви плануєте використовувати декілька смартфонів або пристроїв одночасно.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Але, потрібно не забувати про мінуси використання цього способу в проекті, адже, для нього вони є критичні :

- Вище споживання енергії: У порівнянні з Bluetooth, Wi-Fi може споживати більше енергії, що може бути проблемою для пристроїв з обмеженою потужністю акумулятора.
- Складніше налаштування: Wi-Fi мережі вимагають деякого налаштування, включаючи наявність Wi-Fi точки доступу. Це може бути складніше у порівнянні з простотою налаштування Bluetooth.

З урахуванням вищесказаних показників, для нашого проекту буде доцільніше використати Bluetooth з'єднання. Хоча діапазон передачі Bluetooth обмежений (зазвичай до 10 метрів), для вашого проекту, де пірометр повинен бути близько смартфона, це може бути достатньо. Bluetooth може працювати на низькій потужності, що робить його ідеальним варіантом для пристроїв з обмеженою енергетичною потужністю, таких як безконтактний пірометр. Також варто враховувати те, що модулі для Bluetooth з'єднання набагато дешевші, та доступніші на ринку.

## 2.4. Підбір апаратно-програмної платформи

Для обробки і отримання сигналів з інфрачервоного сенсору випромінювання потрібно обрати мікроконтролер. У даному проекті процесор виконує кілька важливих завдань і забезпечує правильну роботу пристрою. Ось декілька причин, чому процесор є необхідним:

- Обробка сигналів;
- Керування інтерфейсом;
- Керування бездротовим з'єднанням;
- Управління потужністю.

В даному проекті, не потрібно розроблювати мікроконтролер, задача лежить у виборі уже готових проектів, на базі яких ми будемо створювати свій

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

проект. Обираємо між двома популярними платформами :

- STM32F103;
- Arduino Nano Atmega328P.

### STM32F103

STM32F103 є одним з популярних мікроконтролерів в лінійці STM32, вироблених компанією STMicroelectronics. Цей мікроконтролер базується на ядрі ARM Cortex-M3 і пропонує широкі можливості для вбудованих систем.

Характеристики STM32F103 включають :

- ARM Cortex-M3 має 32-бітний процесор з тактовою частотою до 72 МГц. Цей процесор забезпечує швидку та ефективну обробку сигналів, що є важливим для безконтактного пірометра;
- Мікроконтролер оснащений різноманітною пам'яттю. STM32F103 має вбудовану Flash-пам'ять для програмного коду розміром до 512 Кб та оперативну пам'ять (RAM) до 64 Кб. Це дозволяє зберігати програмний код, дані та проміжні результати обчислень;
- STM32F103 має різноманітні периферійні пристрої, такі як UART, SPI, I2C, ADC, PWM та багато інших. Ці пристрої дозволяють зчитувати дані з датчиків температури, керувати виведенням на дисплей, взаємодіяти зі смартфоном через Bluetooth;
- Режимы споживання енергії, що дозволяє зменшити споживання енергії пристрою. Це важливо для забезпечення тривалого життя батареї в безконтактному пірометрі та забезпечення енергоефективності;
- Роз'єми та піни, які дозволяють підключати різні модулі та сенсори для розширення функціональності пірометра. Наявність GPIO-пінів дозволяє легко взаємодіяти зі зовнішнім обладнанням та інтегрувати додаткові функції [14].

В цілому, STM32F103 є потужним та розширюваним мікроконтролером, який забезпечує достатні можливості для реалізації безконтактного пірометра,

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

зокрема передачу даних на смартфон. Його швидкість, периферійні пристрої та розширюваність роблять його привабливим вибором для багатьох вбудованих проєктів.

### Atmega328P

Arduino Nano з мікроконтролером Atmega328P є одним з найпопулярніших варіантів плат Arduino. Він володіє універсальними можливостями та простотою використання, що робить його ідеальним вибором для багатьох проєктів.

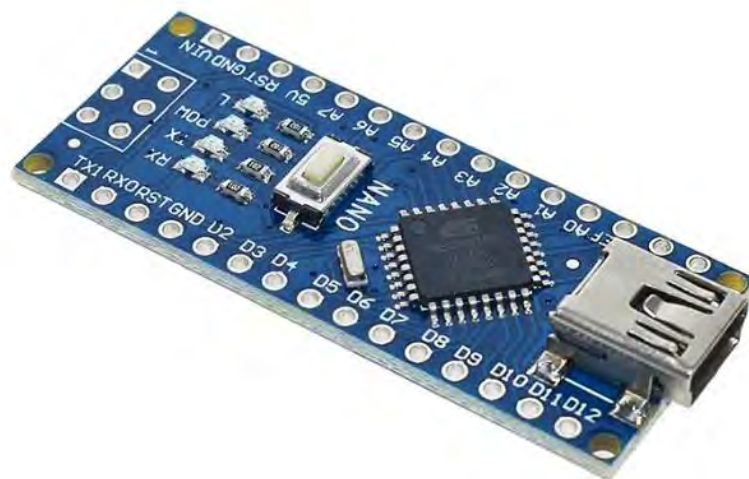


Рис. 2.8. Вигляд платформи Arduino Nano 3.0 v

Технічні характеристики Arduino Nano :

Таблиця 2.1.

Характеристики	Параметри
Мікроконтролер	Atmega328P
Тактова частота	16 МГц
Флеш-пам'ять	32 кБ (з яких 2 кБ використовуються для загрузчика)
Оперативна пам'ять (RAM)	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 підтримують PWM)
Аналогові входи	8
Живлення	5 Вольт через USB або зовнішнє джерело живлення
Розмір	Приблизно 18x45 мм

В данному проекті, для реалізації безконтактного пірометра з передачею даних на смартфон, кращим вибором є Arduino, а не STM. Незважаючи на те, що STM має більшу потужність та можливості, в даному випадку вони не є необхідними. Також одною з головних причин вибору саме цієї платформи, являється те, що STM важко доступна на доступному ринку, замовити її з Китаю, в даний час не являється можливим. Тому вектор вибору звернувся в бік Arduino, в наступних модифікаціях приладу за умови, що поставки STM налагодяться буде розроблений також з використанням її.

## 2.5. Функціональна схема

Оскільки, головні компоненти схеми було обрано, можна реалізувати функціональну схему приладу.

На рисунку 2.9. зображено функціональну схему комп'ютерно-інтегрованого пірометра :

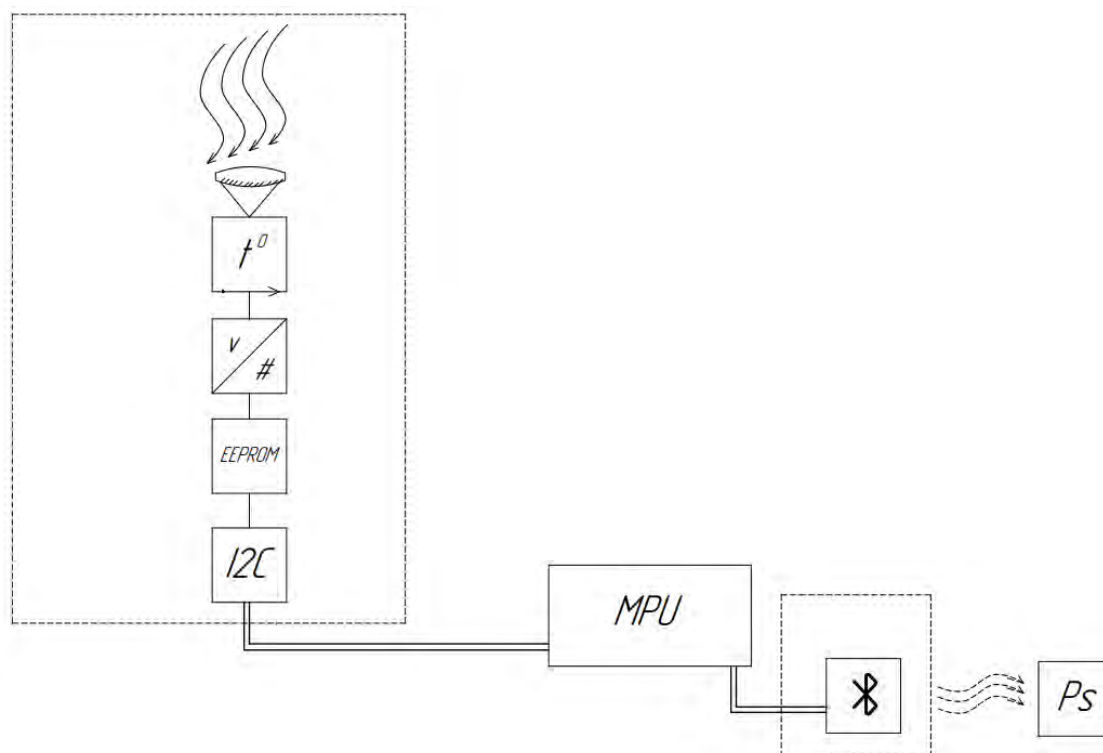


Рис. 2.9. Функціональна схема комп'ютерно-інтегрованого пірометра

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Інфрачервоне випромінювання, що випускається об'єктом або людиною, спочатку фокусується оптичною системою на спеціальний інфрачервоний детектор, який називається термобатареею. Термобатареея визначає, скільки інфрачервоної енергії випромінюють об'єкти в полі її зору (FOV), і генерує електричний сигнал, пропорційний цьому. Напругу, створювану термобатареею, вловлює АЦП. MLX90614 проходить калібрування під час виробництва, щоб забезпечити високу точність вимірювань. Калібрувальні коефіцієнти, які враховують особливості кожного конкретного датчика, також зберігаються в EEPROM. Ці коефіцієнти використовуються під час вимірювань для корекції можливих помилок і забезпечення точності вимірювання температури. Далі проходить передача даних на мікроконтролер, відбувається вона через інтерфейс I2C. Мікроконтролер отримує інформацію, та передає її на користувацький пристрій(Ps) через модуль Bluetooth, який забезпечує нам бездротовий зв'язок з користувацьким пристроєм.

### **Висновок до другого розділу:**

В межах другого розділу, був приведений аналіз існуючих сенсорів, які потенційно можуть бути використані в даному дипломному проєкті. На основі цього аналізу був обраний найбільш підходящий, виходячи з його характеристик які задовільняють завдання та з економічних вимог. Проведений розрахунок важливих параметрів сенсору

Обраний спосіб бездротової передачі даних на користувацький пристрій користувача, вектор вибору змістився на bluetooth з'єднання.

Проведений аналіз існуючих мікроконтролерів, які потенційно можуть виконувати задачі проєкту, виходячи з економічних, доступності вибір впав на Arduino Nano. Вона трішки гірша свого опонента, але вона також легко буде виконувати поставленні перед нею задачі різниці між STM буде малозамітна для користувача.

На основі вибору основних компонентів була створена функціональна схема.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## РОЗДІЛ 3. Підбір допоміжних елементів приладу та проектування корпусу

### 3.1. Вибір Bluetooth модулю

В даному проекті обрана система передачі інформації на користувацький пристрій через інтерфейс Bluetooth. Був обраний модуль HC-05. Він дуже дешевий, а це є дуже гарним фактором, адже, наш прилад має бути дешевший за аналоги на ринку, але не має бути гіршим за них а, потужностей даного модулю більше ніж достатньо для нашого приладу. Також цей модуль дуже простий в користуванні. Даний модуль можна налаштувати в двосторонньому режимі прийому та передачі даних.

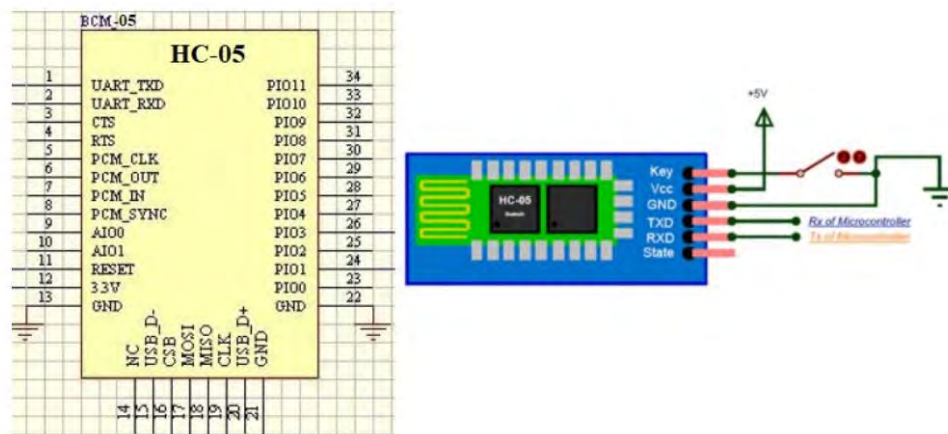


Рис. 3.1. Розпіновка HC-05

Характеристики HC-05:

- Робоча напруга: від 3 В до 6 В;
- Робочий струм: 30 мА;
- Дальність: = 10-15м;
- Може працювати в режимі Master / Slave або Master, Slave [15].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



### 3.2. Підбір елементів живлення, та елементів керування пристроєм

Для живлення системи комп'ютерно-інтегрований пірометр, було обрано батарейку на 9 вольт. Вона є ідеальним джерелом живлення для даного проекту, оскільки, вона дуже зручних розмірів, і її легко буде інтегрувати в корпус. Батарейка на 9 вольт є простим рішенням живлення, оскільки не вимагає додаткових з'єднань або джерела електричного струму. Вона може бути легко встановлена та замінена, що спрощує обслуговування та експлуатацію безконтактного пірометра. Батарейки на 9 вольт широко доступні в різних магазинах та мають розумну ціну. Це робить їх легкодоступними джерелами живлення для безконтактного пірометра. Також використання її дає можливість зменшити собівартість приладу, без використання дорогих акумуляторів та плат зарядки для них.



Рис. 3.2. Звичайна батарейка на 9 В

Для керування вимірювання температури, в проекті використовується сенсорна кнопка ТТР223. Це обумовлено її економічністю, оскільки вона дуже

					ПК91.9101.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

доступна, та по низькій ціні. Кнопка ТТР223 має простий інтерфейс, що дозволяє забезпечити легку інтеграцію з мікроконтролером.

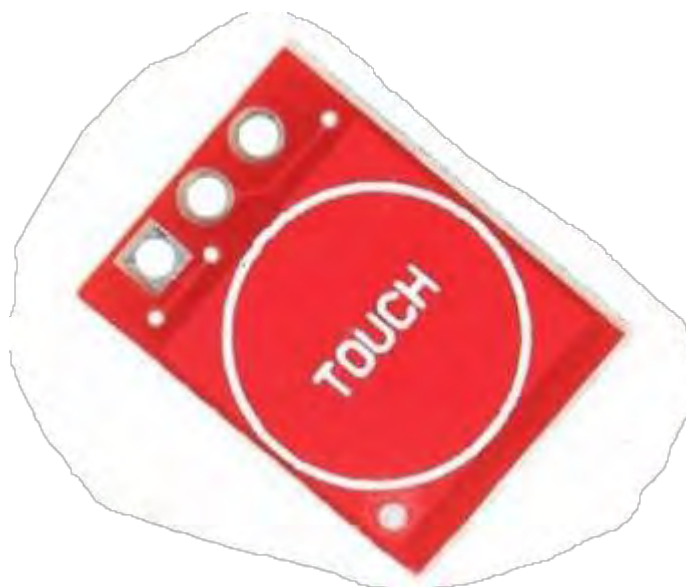


Рис. 3.3. Вигляд схематичної кнопки ТТР223

Для керування подання живлення на прилад, використаємо просту кнопку-перемикач, яка буде з'єднуватись з живленням.



Рис. 3.4. Перемикач живлення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК91.9101.000 ПЗ

Арк.

59

### 3.3.Проектування корпусу

Корпус на комп'ютерно-інтегрований датчик, було розроблено в середовищі SolidWorks [16]. Використані реальні моделі, базовані на реальних розмірів елементів проекту. Форму обрано через зручність використання як в побутових, так і дослідницьких цілях.

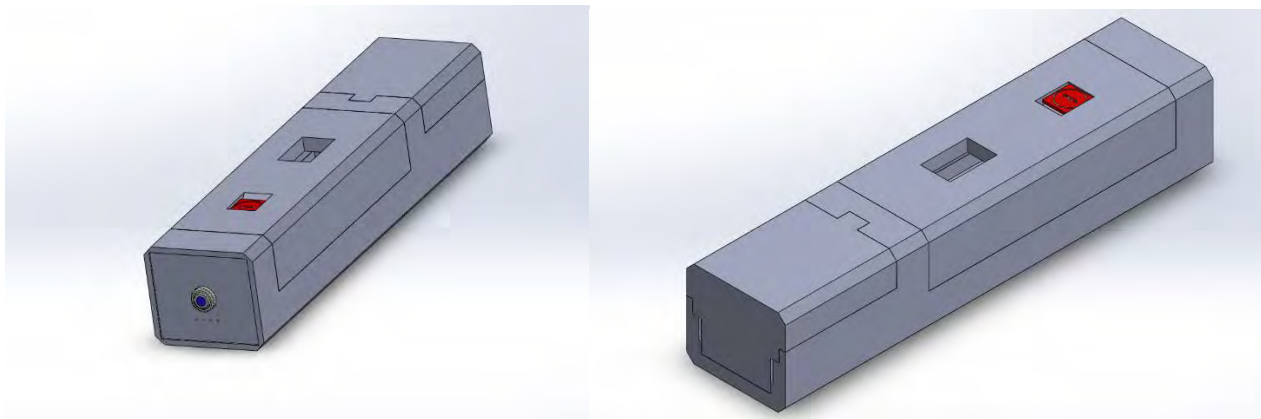


Рис. 3.5. Вигляд приладу в збірці

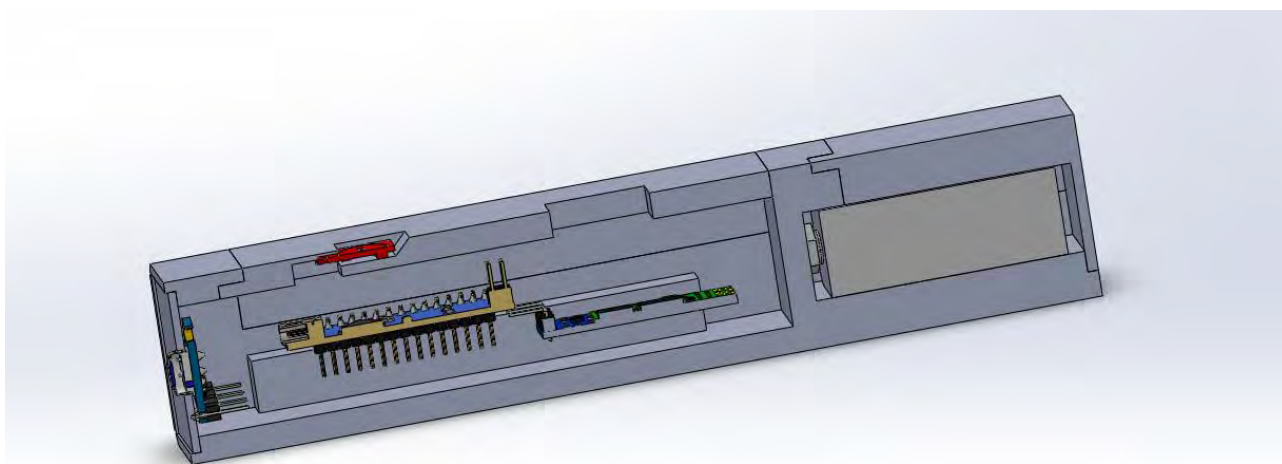


Рис. 3.6. Вигляд збірки у розрізі

Збірка розділена на дві секції, в одній розташовані модулі пристрою, ця секція склеюється при збірці, і розроблена, що було зручно зібрати пристрій. Також клеєве з'єднання здешевить проект, що безумовно являється вагомим плюсом. В іншій секції розташована батарея на 9В яка і буде живити прилад, до цієї секції розроблена кришка, щоб користувач міг легко змінити живлення у випадку, коли воно себе вичерпає.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

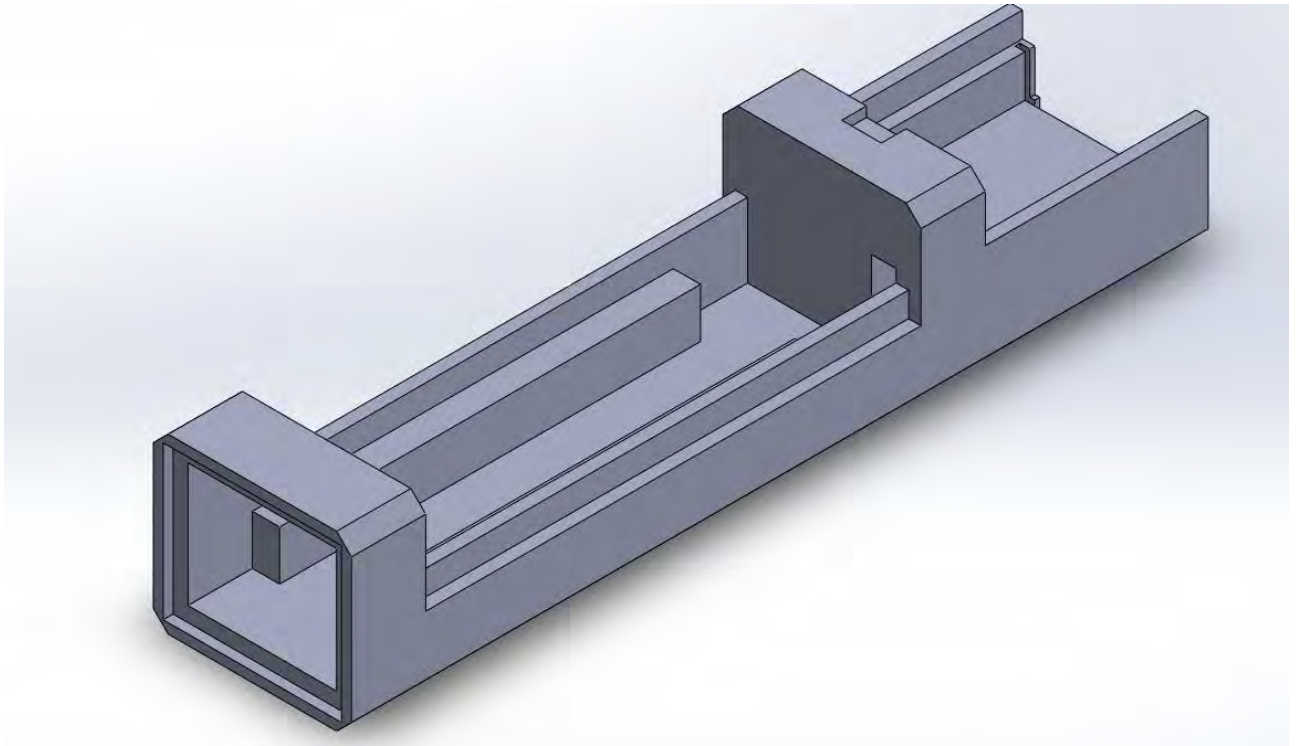


Рис. 3.7. Основа корпусу

Саме на корпус будуть монтуватись всі елементи приладу, він має зручну форму, та фаски на грані, що робить його зручним при утримуванні його рукою [18].

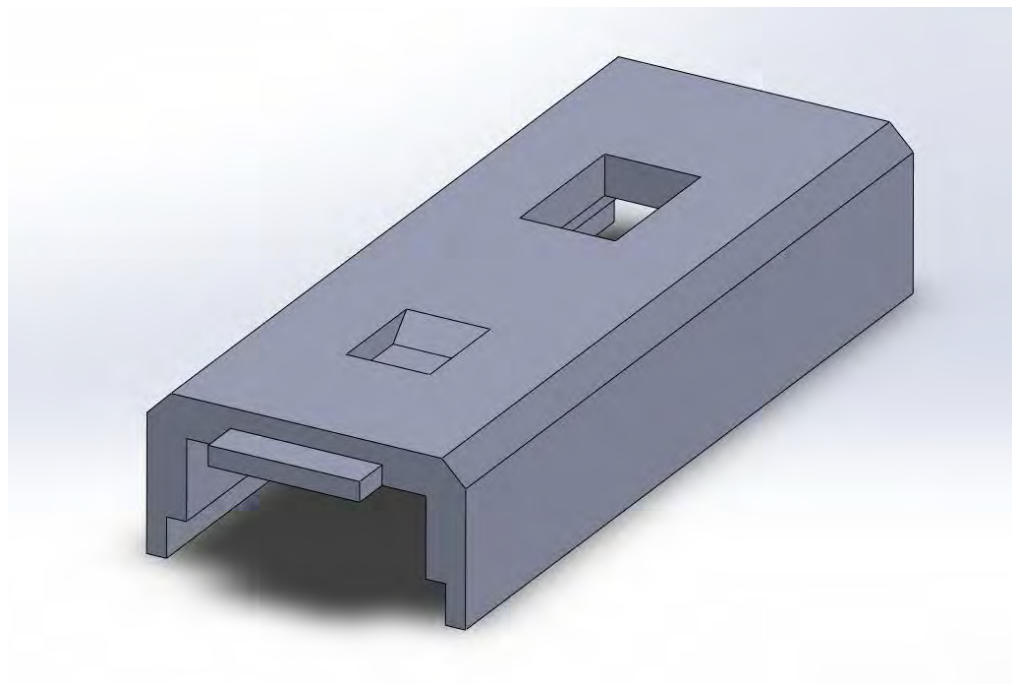


Рис. 3.8. Кришка на першу секцію

					ПК91.9101.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Кришка на першу секцію захищає, елементи приладу від впливу зовнішніх факторів, також на ню проводиться монтування сенсорної кнопки ТТР223 [17], та перемикача живлення.

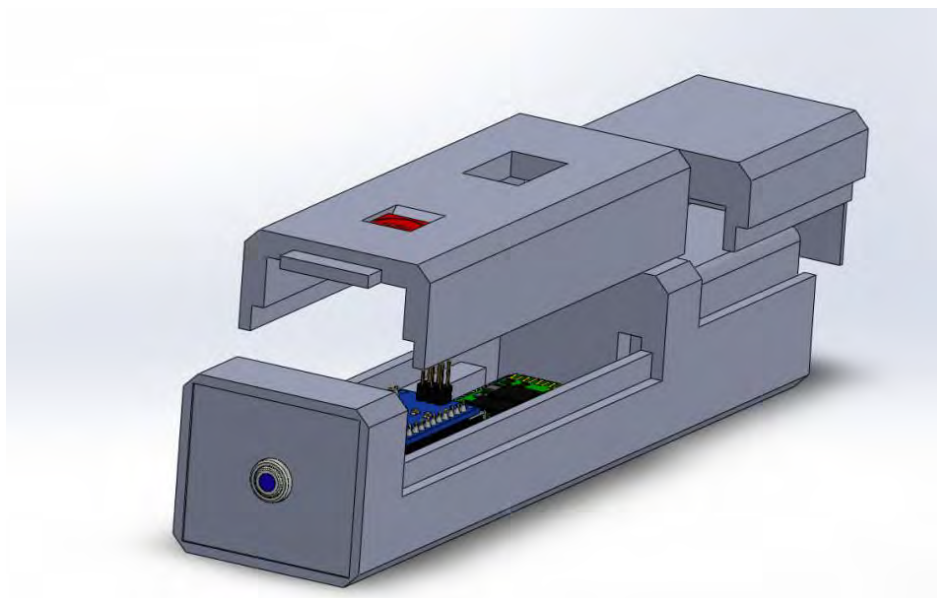


Рис. 3.9. Послідовність збірки

### **Висновок до третього розділу:**

У третьому розділі були підібрані допоміжні елементи приладу.

Обраний модуль безпроводного з'єднання між приладом та користувацьким пристроєм. На основі його доступності, та економічності та характеристикам.

Опрацьовано також інші елементи, такі як сенсорна кнопка виміру температури, перемикач живлення та саме живлення приладу. Живлення обиралось на основі економічності та доступності для користувача.

Також у третьому розділі було сконструйовано корпус для приладу. Корпус ділиться на дві секції. В першій секції розміщують елементи приладу, які важливі для його роботи, у іншій просто блок під живлення, до якого користувач має доступ, для заміни живлення.

## ВИСНОВКИ

Задачою дипломного проекту, стояла розробка комп'ютерно інтегрованого пірометра. Який синхронізований з користувачьким приладом, а саме смартфоном з операційною системою Android.

Було розглянуто методи і засоби, що застосовують для контролю температури ОК. Також проаналізовані переваги безконтактного вимірювання температури над контактними методами. Завдяки висновкам, був зроблений вибір у користь цих методів вимірювання температури. Проведено класифікацію готових аналогів на ринку, та потенційних конкурентів розроблюваного приладу.

Проведений аналіз існуючих варіантів сенсорів, щоб в перспективі обрати один з них для даного проекту. Розрахунок показника візування для обраного сенсору температури.

На основі аналізу існуючих на ринку мікроконтролерів, був обраний оптимальний варіант для даного дипломного проекту. Який буде справлятися з поставленими задачами, та буде економічно-доступним.

Також було створено функціональну схеми приладу, на основі основних обраних компонентів приладу. Обрано допоміжні елементи приладу. Та спроектовано корпус для даного приладу.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



## Література

1. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 201 с.
2. Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.
3. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с
4. Бабич О.О. Визначення безконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл / О.О. Бабич, Н.М. Александрова // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1. – С. 69-71.
5. Скорик Б.И. К вопросу применения бесконтактных методов измерения температуры нагретых тел / Б.И. Скорик, А.В. Гейко // Системи оброб. інформації. – 2007. – Вип. 9. – С. 129-132.
6. Брао І. Аналіз проблематики та перспективних напрямів розвитку безконтактної термометрії [Текст] / І. Брао // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – Вип. 75. – С. 40-44.
7. Неделько А.Ю. Преимущества и недостатки бесконтактного измерения температуры [Текст] / А.Ю. Неделько // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – N 7. – С. 29-30.
8. Fluke 62 max+ Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fluke-direct.com/pdfs/cache/www.fluke-direct.com/64-max/datasheet/64-max-datasheet.pdf>

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Testo 830-T2 Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://static-int.testo.com/media/2c/2e/370ce9c89ff6/Testo-830-Data-Sheet-US.pdf>
10. Omega OS530E Series Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://assets.omega.com/manuals/M4088.pdf>
11. MLX 90614 Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614\\_rev001.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf)
12. TMP006 Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/tmp006.pdf>
13. MAX31856 Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/881192/MAXIM/MAX31856.html>
14. Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 64 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html> <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/26874/ST/CD4047.html>
15. HC-05 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf)
16. SOLIDWORKS TEACHER TRAINING MANUAL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_EN.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf)
17. TTP223 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/TTP223-BA6\\_C80757.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/TTP223-BA6_C80757.pdf)

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65



18. INTRODUCING SOLIDWORKS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_EN.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf)
19. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
20. Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.
21. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.
22. Куц Ю.В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.
23. I. Lysenko, V. Uchanin, V. Petryk, Y. Kuts, A. Protasov and A. Alexiev, "Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition," 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 1-5.
24. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумівій дефектокопії / М. О. Редька, Ю. В. Куц, Є. В. Шаповалов, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко, О. Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С. 45-53.

					<i>ПК91.9101.000 ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		