

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

« ___ » _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Прилад для автоматизованого контролю температури»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-01

Тимець Назар Андрійович _____

Керівник:

проф., д.п.н.

Протасов Анатолій Георгійович _____

Рецензент:

доцент, к.т.н.

Козир Олег Васильович _____

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

Студент _____

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Пояснювальна записка	63	
2	A1	ПК 01.19.1760.001	Схема функціональна	1	
3	A1	ПК 01.20.1760.000 СК	Складальний кресленик	1	
4	A1	ПК 01.20.1760.003	Схема принципова	1	
5	A1	ПК 01.20.1760.006	Плакат	2	

				ДП ПК01.19.1760.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробник	Тимець Н.А.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Протасов А.Г.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-01	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Прилад для автоматизованого контролю
температури»

Київ – 2024 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 «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Тимцю Назару Андрійовичу

1. Тема проєкту « Прилад для автоматизованого контролю температури », керівник проєкту професор, д.п.н. Протасов Анатолій Георгійович затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. №2121-с.
2. Термін подання студентом проєкту «11» червня 2024 року
3. Вихідні дані до проєкту: розробити пристрій для автоматизованого контролю температури з використанням мікроконтролера Arduino Nano v3.0 та датчиків MLX90614, який забезпечуватиме своєчасне оповіщення про вихід температури за межі допустимого діапазону. Пристрій повинен мати високу чутливість, швидку обробку даних, надійність у роботі та доступність у використанні.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналіз сучасних інструментів контролю температури (традиційні методи, інфрачервоні датчики, системи контролю в різних галузях, висновки до розділу 1), огляд теоретичних основ пірометрії, розробка пристрою для автоматизованого контролю температури (концепція та вимоги до пристрою, розробка оптичної системи, розробка ПЗ, висновки до

розділу 3), огляд компонентів пірометра (Arduino Nano v3.0, MLX9061, висновки до розділу 4)

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

- 1 – Схема функціональна
- 2 – Модель лінзи Френеля
- 3 – Код алгоритму
- 4 – 3D модель прототипу

6. Дата видачі завдання: «02» березня 2024 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	01.03.2024	
2	Проведення аналітичного огляду	19.04.2024	
3	Визначення алгоритму роботи	03.05.2024	
4	Підбір компонентів	26.05.2024	

Студент

ТИМЕЦЬ Н.А.

Керівник

ПРОТАСОВ А.Г.

Анотація

Дипломна робота присвячена розробці приладу для автоматизованого контролю температури. У роботі розглянуто основні принципи роботи безконтактних пірометрів, їх класифікацію та сфери застосування. Проведено аналіз літературних джерел та теоретичних основ, що стосуються термоконтролю за допомогою інфрачервоних приладів.

У роботі також обґрунтовано вибір чотириканального радіаційного пірометра для контролю температури ізоляції проводу ПВ-3 1x60. Описано процес розробки оптичної системи пірометра, включаючи вибір матеріалів для лінз та моделювання оптичних компонентів.

Запропоновані рішення дозволяють забезпечити точне та ефективне вимірювання температури без фізичного контакту з об'єктом, що є критично важливим для умов виробництва, де необхідно контролювати температурні параметри в режимі реального часу. Проведено аналіз переваг і недоліків розробленого приладу, а також надано рекомендації щодо його використання у промислових умовах.

Ключові слова: автоматизований контроль температури, безконтактні пірометри, інфрачервоне випромінювання, радіаційні пірометри, оптична система, термоконтроль, інфрачервоні датчики, тепловізійні технології, промисловий моніторинг, температурні датчики.

Annotation

This thesis is dedicated to the development of a device for automated temperature control. The paper examines the basic principles of non-contact pyrometers, their classification, and fields of application. An analysis of literary sources and theoretical foundations related to thermal control using infrared devices is conducted.

The study also justifies the choice of a four-channel radiation pyrometer for controlling the temperature of the insulation of PV-3 1x60 wire. The process of developing the pyrometer's optical system is described, including the selection of materials for lenses and the modeling of optical components.

The proposed solutions ensure accurate and efficient temperature measurement without physical contact with the object, which is critical for industrial conditions where it is necessary to control temperature parameters in real-time. An analysis of the advantages and disadvantages of the developed device is provided, along with recommendations for its use in industrial settings.

Keywords: automated temperature control, non-contact pyrometers, infrared radiation, radiation pyrometers, optical system, thermal control, infrared sensors, thermographic technologies, industrial monitoring, temperature sensors.

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	10
1.1 Класифікація засобів контролю температури.....	10
1.2 Сфери використання пірометрів	13
1.3 Класифікація пірометрів	16
1.3.1 Радіаційні пірометри	18
1.3.2 Яскравісні пірометри	19
1.3.3 Пірометри спектрального відношення	20
1.4 Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІРОМЕТРІЇ	23
2.1. Фізичні основи пірометрії	23
2.2. Огляд законів, на яких базується вимірювання температурних значень пірометром 26	26
2.3. Висновки до розділу 2.....	28
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ.....	29
3.1 Аналіз об'єкта контролю	29
3.2 Обґрунтування вибору чотириканального радіаційного пірометра.....	30
3.3 Аналоги обраного пірометра	32
3.4 Розробка оптичної системи пірометра	36
3.5 Розробка оптичної системи пірометра в програмі Zemax	38
3.6 Функціональна схема пірометра	43
3.7 Опис алгоритму зчитування і контролю температури з чотирьох приймачів випромінювання.....	44
3.8 Код на основі якого працює пірометр	45
3.9 Висновки до розділу 3.....	46
РОЗДІЛ 4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ПІРОМЕТРА.....	Помилка! Закладку не визначено.
4.1 Аналіз компонентів пірометра	48
4.2 3D модель прототипу	53
4.2 Висновки до розділу 4.....	55
ВИСНОВОК.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ				
<i>Змн.</i>	<i>Ар</i>	<i>№ до</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розробив</i>	<i>Тимець Н.А.</i>				Прилад для автоматизованого контролю температури				
<i>Перевір.рев</i>	<i>Протасов А. Г</i>			<i>Літ.</i>				<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Реценз.</i>				8					
<i>Н. Контр.</i>				ПБФ, ПК-01					
<i>Затверд.</i>	<i>Протасов А.Г.</i>								

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть безконтактні пірометри стали невід’ємною складовою багатьох галузей промисловості та наукових досліджень. Їхній унікальний принцип роботи, який базується на вимірюванні температури об’єктів без прямого контакту з ними, визнаний як важливий компонент сучасних технологій термоконтролю. Основна ідея полягає у використанні інфрачервоного випромінювання тіл, що мають температуру вище за абсолютний нуль.

Пірометри забезпечують точні та ефективні виміри температури, а також зручність у використанні, оскільки не потребують фізичного контакту з об’єктом. Це робить їх незамінними для вимірювання температури об’єктів у важкодоступних або небезпечних умовах.

У промисловому виробництві, де безпека і ефективність процесів відіграють критичну роль, пірометри мають велике значення. Вони дозволяють точно вимірювати температуру об’єктів, що перебувають у високотемпературних середовищах або знаходяться у важкодоступних місцях, не піддаючи робітників небезпеці.

У даному дипломному проєкті планується дослідити принципи роботи безконтактних пірометрів, їх застосування в різних галузях та вплив на сучасне виробництво та науковий прогрес. Крім того, буде проведено аналіз ринку безконтактних приладів для вимірювання температури з метою визначення найбільш ефективних та оптимальних рішень у виборі таких приладів.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Класифікація засобів контролю температури

Вимірювання температури на промислових підприємствах є ключовим етапом контролю якості та ефективності. Процес визначення температури здійснюється за допомогою термометрів, які поділяються на дві основні групи залежно від методу вимірювання: контактні та безконтактні. Класифікація термометрів на рис. 1.1.

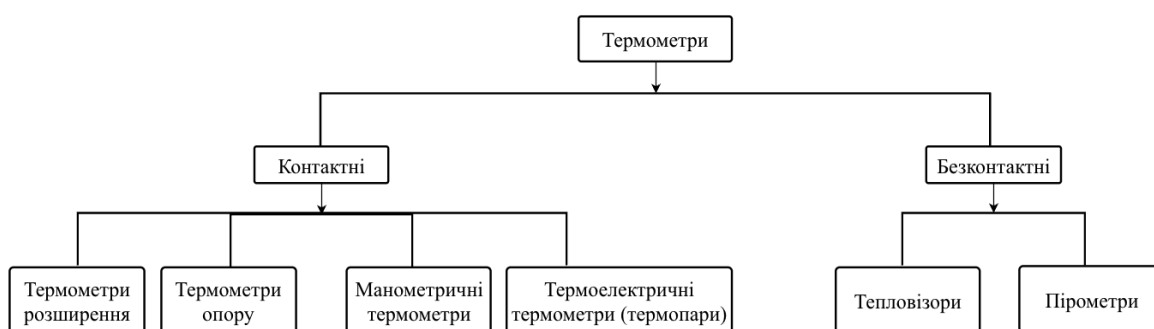


Рис. 1.1. Класифікація пристроїв для контролю температури

Контактні пристрої вимірювання температури - це прилади, які для зняття показань потребують безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем або об'єктом.

Їх принцип роботи ґрунтується на вимірюванні зміни фізичних властивостей речовини, що використовується як датчик, під впливом температури.

Найпоширеніші типи контактних термометрів:

– термометри розширення вимірюють температуру за допомогою зміни об'єму рідини або розміру твердої речовини залежно від температури. Для прикладу: ртутні, спиртові та біметалеві термометри. Ртутний термометр має стовпчасту трубку, заповнену

ртуттю, яка розширюється або стискається залежно від температури, що призводить до зміни висоти стовпчика ртуті.

– термометри опору вимірюють температуру шляхом вимірювання зміни електричного опору в матеріалах залежно від температури. Термістори та терморезистори є типовими прикладами таких термометрів. Термістор - це напівпровідниковий елемент, чий опір змінюється залежно від температури. Терморезистор - це елемент, виготовлений з матеріалів, таких як платина або нікелеві сплави і його опір змінюється відповідно до температури.

– манометричні термометри використовують температурну залежність тиску газів або рідин для вимірювання температури. Ці пристрої для вимірювання температури складаються з чутливого елемента (термобалону) та показуючого пристрою, що з'єднані капілярною трубкою і заповнені робочою речовиною. Принцип їх дії полягає у зміні тиску робочої речовини в закритій системі термометра залежно від температури.

– термоелектричні термометри (термопари) працюють на принципі термоелектричного ефекту між двома різнорідними металами. Вимірювальний прилад збирає напругу, яка генерується внаслідок зміни температури на місці контакту між двома металами. Термопари широко використовуються в промисловості завдяки своїй простоті, довговічності та широкому діапазону вимірювань.

Безконтактні методи вимірювання температури не потребують прямого фізичного контакту з об'єктом, на температуру якого проводяться вимірювання. Це робить їх зручними та безпечними для використання в ситуаціях, коли контакт може бути незручним, небезпечним або неможливим.

Найпоширеніші типи безконтактних методів вимірювання:

– тепловізори вимірюють температуру об'єктів за допомогою вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке вони

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворюють на теплове зображення. Вони широко використовуються в контролі будівельних, електричних, і механічних систем, а також в медицині та пожежній безпеці. Тепловізор сканує поверхню об'єкта і записує температурні дані в реальному часі, створюючи детальне теплове зображення області.

– пірометри застосовують для вимірювання температури, використовуючи теплове випромінювання тіла об'єкта. Ці пристрої виступають у ролі фотодетекторів, оскільки можуть поглинати енергію та вимірювати інтенсивність електромагнітних хвиль на будь-якій довжині. Пірометри доступні в різних спектральних діапазонах, що дозволяє їм застосовуватися для металів з короткохвильовим діапазоном та неметалів з довгохвильовим діапазоном інфрачервоного випромінювання. При належній якості оптичної системи пристрій може вимірювати температуру навіть дуже маленьких об'єктів на відносно великій відстані від них.

Переваги безконтактних методів:

– не вимагають фізичного контакту: безконтактні прилади дозволяють виміряти температуру об'єкта без прямого фізичного контакту з ним. Це особливо важливо в умовах, коли контакт з об'єктом небажаний або неможливий, наприклад, через високі температури, хімічну агресивність або велику відстань.

– висока швидкість вимірювання: безконтактні методи можуть швидко вимірювати температуру об'єктів, що дозволяє ефективно контролювати процеси в реальному часі.

– можливість вимірювання на відстані: тепловізори та пірометри дозволяють вимірювати температуру об'єктів на значній відстані, що робить їх ідеальними для використання в умовах, коли фізичний доступ обмежений.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– висока точність інтерпретації даних: безконтактні методи зазвичай мають високу точність вимірювання, оскільки вони базуються на фізичних властивостях та законах теплопередачі.

Переваги пірометрів на виробництві:

– великий діапазон вимірювання: пірометри можуть працювати в різних спектральних діапазонах, що дозволяє їм вимірювати температуру різних матеріалів, включаючи метали з короткохвильовим діапазоном та неметали з довгохвильовим діапазоном ІЧ випромінювання.

– можливість вимірювання на відстані: пірометри дозволяють виміряти температуру об'єктів на відстані, що робить їх корисними для вимірювання температури об'єктів, які знаходяться на значній відстані або недоступні для контактних методів.

– можливість вимірювання маленьких об'єктів: завдяки високій якості оптичної системи, пірометри можуть вимірювати температуру навіть дуже малих об'єктів на відносно великій відстані від них.

1.2 Сфери використання пірометрів

У сучасному світі точне та швидке вимірювання температури є життєво важливим для багатьох галузей. Від контролю якості на виробництві до моніторингу стану обладнання, пірометри, також відомі як інфрачервоні термометри, стають незамінними інструментами [5].

На відміну від контактних термометрів, які потребують прямого дотику до об'єкта, пірометри пропонують безконтактне вимірювання температури, використовуючи інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, що випромінюється об'єктом. Ця унікальна властивість робить їх не лише безпечними та зручними у використанні, але й дає змогу вимірювати

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температуру в небезпечних або важкодоступних місцях. Далі розглянемо Приклади використання пірометрів у різних галузях.

Будівництво:

– вермографія будівель для виявлення ділянок з підвищеними тепловтратами. Пірометр може допомогти визначити місця, де потрібна додаткова теплоізоляція, що дозволяє знизити витрати на енергію.

– вимірювання температури поверхні покрівлі для виявлення потенційних проблем, таких як пошкодження або витік.

Енергетика:

– моніторинг температури компонентів електростанцій, таких як турбіни, генератори та трансформатори. Регулярне вимірювання температури допомагає запобігти поломкам обладнання та підтримувати ефективну роботу електростанції.

– виявлення перегрітих проводів та електричних компонентів для запобігання пожежам.

Харчова промисловість:

– моніторинг температури їжі під час приготування, зберігання та транспортування. Це допомагає забезпечити безпеку харчових продуктів та запобігти їх псуванню.

– виявлення точок перегріву в печах та сушарках для оптимізації процесів приготування їжі.

Сільське господарство:

– вимірювання температури ґрунту для визначення оптимального часу для посадки рослин.

– моніторинг температури тіла тварин для виявлення захворювань.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Медицина:

– вимірювання температури тіла людини на лобі або зап'ясті (хоча для діагностики захворювань рекомендуються більш точні методи).

– моніторинг температури шкіри для виявлення запальних процесів.

Наукові дослідження:

– вимірювання температури зірок, планет та інших космічних об'єктів, які є занадто далекими для використання контактних термометрів.

– вивчення теплових властивостей матеріалів у лабораторних умовах.

Пірометри у промисловості:

– металургія: постійний моніторинг та контроль температури металів на всіх етапах ливарно-прокатного виробництва, від вимірювання температури розплаву до контролю зон печей, є ключовим фактором для отримання якісної продукції. Пірометри забезпечують точний та швидкий контроль температурних режимів, що економить енергію, мінімізує брак та покращує загальну ефективність виробництва.

– інші галузі: пірометри широко використовуються в інших галузях, таких як хімічна промисловість, харчова промисловість, паперова промисловість, будівельна сфера, для контролю температурних режимів на різних етапах технологічних процесів, забезпечуючи якість продукції та безпеку роботи.

– виробництво дротів: пірометри використовуються для контролю температури обмотки дроту під час виготовлення електричних кабелів та проводів при нанесенні ізоляції. Це важливо, оскільки неправильна температура може призвести до пошкодження ізоляції. Перегрів може спричинити пошкодження або розплавлення

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ізоляції, що робить кабель або провід небезпечним для використання. Низька температура може призвести до того, що ізоляція не буде щільно прилягати до дроту, що може спричинити витоки струму або інші проблеми. Недотримання оптимальних температурних режимів може також призвести до уповільнення процесу нанесення ізоляції, що знижує продуктивність виробництва.

1.3 Класифікація пірометрів

У даному розділі ми розглянемо різні типи пірометрів за різними критеріями класифікації. Класифікація пірометрів допомагає краще розуміти їхні характеристики, особливості та застосування в різних галузях промисловості, науки та медицини. Ми розглянемо різноманітні принципи дії пірометрів, їхні температурні діапазони, способи прицілу на об'єкт, конструкційні особливості, коефіцієнт випромінення та способи візуалізації даних.

За принципом дії пірометри можна поділити на три види: радіаційні пірометри, яскравісні пірометри, колірні пірометри.

Радіаційні пірометри вимірюють температуру, враховуючи випромінювання об'єкта. Їхня робота базується на принципі, що всі тіла при певних температурах випромінюють енергію у вигляді інфрачервоного випромінювання. Пірометри вимірюють інтенсивність цього випромінювання та, за допомогою законів, що описують співвідношення між температурою та інтенсивністю випромінювання, визначають температуру об'єкта. Вони можуть використовуватися для вимірювання температур у широкому діапазоні, включаючи як низькі, так і високі значення. Діапазон: 50°C - 3500°C

Яскравісні пірометри вимірюють температуру, орієнтуючись на яскравість об'єкта. Вони використовуються тоді, коли точність вимірювання температури залежить від яскравості об'єкта, а не від

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його інфрачервоного випромінювання. Такі пірометри можуть бути особливо корисними для вимірювання температур об'єктів з високою яскравістю, які можуть бути непрозорими для інфрачервоного випромінювання. Діапазон: 700°C - 6000°C.

Колірні пірометри оцінюють температуру, враховуючи колірну температуру об'єкта. Колірні пірометри використовують спектральні характеристики випромінювання об'єкта для визначення його температури. Вони здатні вимірювати температуру об'єктів у відносно широкому діапазоні, включаючи як низькі, так і високі температури. Діапазон: 300°C - 2800°C.

За температурним діапазоном поділяються:

– низькотемпературні: призначені для вимірювання температурних значень відносно низьких температур, наприклад, у діапазоні від кімнатної температури до кількох сотень градусів Цельсія.

– високотемпературні: розроблені для вимірювання високих температур, таких як ті, що зустрічаються у виробничих процесах чи на великих печах, де температури можуть перевищувати кілька тисяч градусів Цельсія.

За прицілом на об'єкт поділяються на:

– прилади з лазерним прицілом: мають вбудований лазерний показник, який допомагає точно наводити прилад на об'єкт.

– прилади з оптичним прицілом: використовують оптичні засоби для точного визначення області вимірювання на об'єкті.

За конструкційними особливостями поділяються на:

– стаціонарні: призначені для постійного монтажу на обладнанні або промислових лініях.

– переносні: мають компактну конструкцію та можуть бути легко перенесені для використання у різних місцях.

За коефіцієнтом випромінювання поділяються на:

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– з фіксованим коефіцієнтом випромінення: вимірюють температуру з урахуванням сталого коефіцієнта випромінення для певного матеріалу.

– з коефіцієнтом, що змінюється: адаптуються до змін коефіцієнта випромінення залежно від умов вимірювання.

За способом візуалізації дані поділяються на:

– текстово-цифрові: відображають результати вимірювання у вигляді цифрових значень або текстової інформації.

– графічні: показують результати вимірювання у вигляді графіків або діаграм.

1.3.1 Радіаційні пірометри

Радіаційні пірометри - це тип безконтактних термометрів, які вимірюють температуру тіла шляхом вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке вони випромінюють. Основний принцип їхньої роботи базується на законі випромінювання Кірхгофа, який визначає, що кожне тіло при певній температурі випромінює енергію, з якою пропорційна його температурі.

Радіаційний пірометр вимірює інтенсивність інфрачервоного випромінювання, яке виходить від об'єкта. Ця інтенсивність перетворюється на температуру з використанням закону Стефана-Больцмана. Датчик в пірометрі сприймає інфрачервоне випромінювання, і згідно з його інтенсивністю обчислює температуру поверхні об'єкта.

Радіаційні пірометри можуть працювати в широкому діапазоні температур. Низькотемпературні моделі можуть вимірювати температури від кількох градусів Цельсія (навіть від -50°C) до кількох сотень градусів, включаючи позитивні та негативні значення. Високотемпературні радіаційні пірометри можуть вимірювати

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури до тисяч градусів Цельсія та вище, навіть до декількох тисяч градусів.

Стандартний радіаційний пірометр має такі компоненти:

- оптичний блок: він збирає інфрачервоне випромінювання від об'єкта та направляє його на датчик.
- датчик: приймає інфрачервоне випромінювання та перетворює його на електричний сигнал.
- електроніка обробки сигналу: обчислює температуру за допомогою отриманого електричного сигналу.
- дисплей: показує виміряну температуру.

Радіаційні пірометри широко застосовуються у промисловості, медицині, науці та інших галузях. Вони використовуються для вимірювання температур виробів на виробничих лініях, контролю якості продукції, медичних діагностики, а також у наукових дослідженнях, де точність вимірювань температури є критичною.

1.3.2 Яскравісні пірометри

Яскравісні пірометри, також відомі як оптичні пірометри або оптичні термометри, вимірюють температуру об'єкта, орієнтуючись на його оптичну яскравість. Основна принципова відмінність цих пірометрів полягає у використанні сенсорів, які сприймають видиме світло замість інфрачервоного випромінювання.

Яскравісні пірометри використовують оптичний блок, що збирає видиме світло, яке випромінюється об'єктом. Світло фокусується на датчику, який перетворює його на електричний сигнал. Далі цей сигнал обробляється електронікою, яка обчислює температуру об'єкта на основі вимірів.

Яскравісні пірометри зазвичай призначені для вимірювання температур від кількох градусів Цельсія до кількох сотень градусів.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вони надзвичайно корисні для вимірювання низьких температур, таких як температура поверхні шкіри або виробів в харчовій промисловості.

Стандартний яскравісний пірометр має такі компоненти:

- оптичний блок: збирає видиме світло, яке випромінює об'єкт.
- датчик: сприймає світло та перетворює його на електричний сигнал.
- електроніка обробки сигналу: обчислює температуру на основі електричного сигналу.
- дисплей: показує виміряну температуру.

Яскравісні пірометри широко використовуються в медицині для вимірювання температури тіла людини, а також в харчовій промисловості для контролю температури продуктів. Вони також застосовуються в електроніці та інших галузях промисловості для точного вимірювання температур виробів та обладнання. Яскравісні пірометри є дуже зручними та швидкими у використанні, оскільки вони не вимагають фіксації на об'єкті та дають результат миттєво.

1.3.3 Пірометри спектрального відношення

Пірометри спектрального відношення (спектральні пірометри) - це інфрачервоні термометри, які вимірюють температуру, використовуючи відношення інтенсивності випромінювання об'єкта в різних спектральних діапазонах. Основна ідея полягає в тому, що об'єкти різних температур випромінюють інтенсивніше в певних частинах інфрачервоного спектру.

Спектральні пірометри використовують спеціальні детектори, які сприймають інфрачервоне випромінювання об'єкта в декількох спектральних діапазонах. Після сприйняття сигналу детектори

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передають інформацію про інтенсивність випромінювання об'єкта на обробний блок. За допомогою математичних алгоритмів, цей блок розраховує температуру об'єкта, використовуючи відношення інтенсивності в різних спектральних діапазонах.

Спектральні пірометри можуть вимірювати температуру від кількох сотень до кількох тисяч градусів Цельсія. Вони зазвичай застосовуються для вимірювання високих температур, таких як температура металів у виробничих процесах чи температура плавильних печей.

Спектральні пірометри складаються з наступних компонентів:

- оптичний блок: збирає інфрачервоне випромінювання об'єкта.
- детектори: сприймають інтенсивність випромінювання в різних спектральних діапазонах.
- обробний блок: аналізує інформацію, отриману від детекторів, і розраховує температуру об'єкта.
- дисплей: відображає виміряну температуру.

Спектральні пірометри застосовуються у промисловості для контролю температур у виробництві металургійних продуктів, скловиробництві, керамічній промисловості та інших галузях, де необхідно точно виміряти високі температури. Вони також використовуються для досліджень в області фізики та хімії, а також у наукових дослідженнях та метрології.

1.4 Висновки до розділу 1

Сучасні пірометри - це універсальні та безконтактні прилади для вимірювання температури, які використовуються в різних галузях. Їхні переваги полягають у безпеці, зручності, швидкості, широкому

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоні вимірювань та можливості вимірювати температуру в небезпечних або важкодоступних місцях.

Пірометри стали незамінним інструментом для безконтактного та точного вимірювання температури в різних сферах діяльності. Їхнє використання дозволяє покращити якість продукції, підвищити безпеку роботи, економити ресурси та знизити ризики аварійних ситуацій.

Подальші дослідження та розробки в галузі пірометрів спрямовані на вдосконалення їхніх характеристик, розширення діапазону вимірювань, підвищення точності та мінімізації похибок. Очікується, що нові технології, такі як штучний інтелект та машинне навчання, допоможуть створити ще більш інтелектуальні та ефективні пірометри, які зможуть вирішувати ще складніші завдання.

Сучасні пірометри - це динамічно розвиваюча сфера, яка пропонує широкий спектр інструментів для вимірювання температури. Їхнє використання робить значний внесок у різні галузі промисловості, науки та медицини, забезпечуючи безпеку, точність та ефективність.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІРОМЕТРІЇ

2.1. Фізичні основи пірометрії

Усі тіла, незалежно від їхньої температури, випромінюють енергію у вигляді інфрачервоного випромінювання. Це випромінювання знаходиться в межах електромагнітного спектра, який розташований між видимим світлом для людського ока та радіохвилями. Діапазон хвиль інфрачервоного випромінювання охоплює значний діапазон, починаючи від 0,7 мікрметра і закінчуючи 1000 мікрметрами.

З технічного погляду, для ефективного вимірювання температури найбільш підходять хвилі в інфрачервоному діапазоні від 0,7 мікрметра до 20 мікрметрів. Це пов'язано з тим, що на сучасному етапі розвитку технологій немає достатньо чутливих детекторів оптичного випромінювання для вимірювання енергії при хвилях довжиною понад 20 мікрметрів. Зображення спектру електромагнітного випромінювання на рис. 2.1.

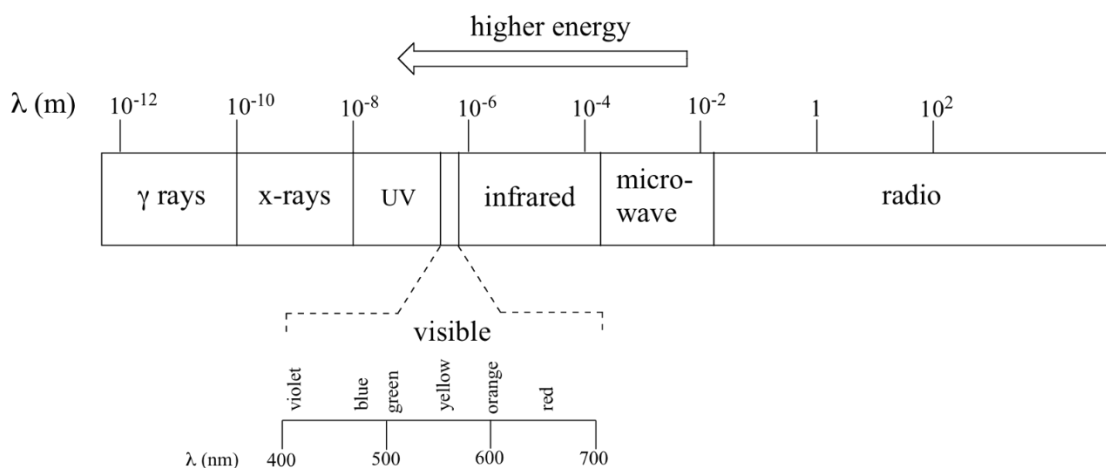


Рис. 2.1. Спектр випромінювання

На графіку рис. 2.2. зображено залежність інтенсивності випромінювання чорного тіла від температури. Відзначимо, що значна частина енергії за межами видимого діапазону оптичного спектра. Технічно це пояснюється тим, що чорне тіло випромінює енергію на всіх довжинах хвиль, але інтенсивність цього випромінювання змінюється з температурою тіла. Внаслідок цього, більшість цієї енергії знаходиться поза межами видимого спектра, що не сприймається людським оком.

Інфрачервоне випромінювання, подібно до видимого світла, розповсюджується прямолінійно від джерела, але, зіштовхуючись з перешкодами, може відбиватися чи поглинатися. Об'єкти, які не пропускають світло для людського сприйняття, частково поглинають і частково відбивають інфрачервоне випромінювання, що на них падає. Ці об'єкти випромінюватимуть частину енергії, яку поглинули, і частину відбиватимуть. Відсоток енергії, яка відбивається чи поглинається об'єктом, залежить від його поверхні та характеристик.

Згідно з законом збереження енергії, сума переданої, відбитої та поглинутої інфрачервоної енергії має дорівнювати одиниці. Об'єкт, що поглинає всі види випромінювання, отримав назву чорне тіло, проте в природі не існує ідеального чорного тіла. Для порівняння, коефіцієнт випромінювання чорного тіла прийнято рівним одиниці.

Коефіцієнт випромінювання визначає, наскільки ефективно об'єкт випромінює теплову енергію порівняно з ідеальним чорним тілом за однакової температури. Якщо об'єкт випромінює менше інфрачервоної енергії, ніж чорне тіло, і його випромінювальні характеристики залишаються сталими для всіх довжин хвиль, то такий об'єкт вважається сірим тілом. Наприклад, кераміка часто має властивості сірого тіла. У той час, як у не сірих або селективних тілах випромінювальні характеристики змінюються залежно від довжини хвилі. Метали є прикладом не сірих тіл, оскільки їх коефіцієнти

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання можуть змінюватися залежно від температури та інших факторів. Порівняння випромінювань чорного, сірого та не сірих тіл наведено на рис. 2.3.

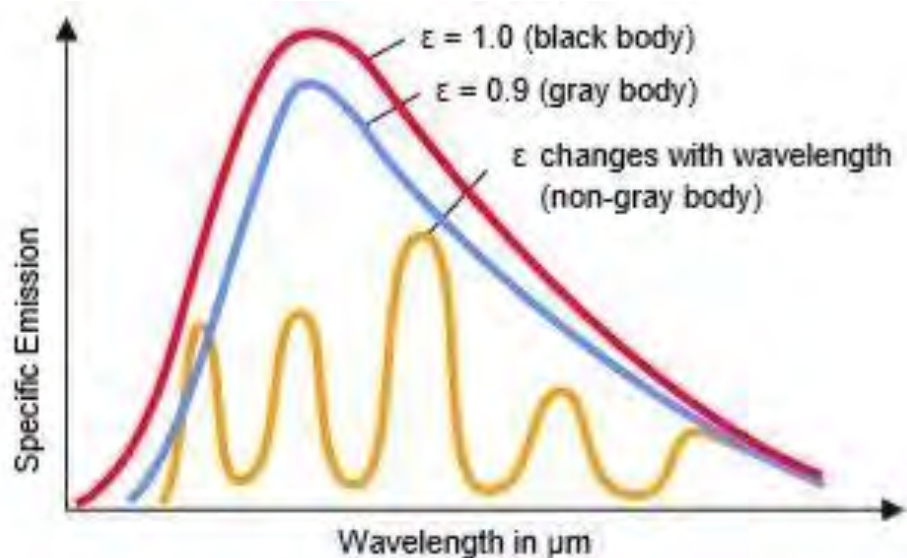


Рис. 2.3. Порівняння випромінювань чорного, сірого та не сірих тіл

Різні матеріали мають різні коефіцієнти випромінювання, що впливає на їхню здатність випромінювати інфрачервону енергію при певних температурах. Хоча кольоровий вигляд матеріалу може впливати на його сприйняття світла, коефіцієнт випромінювання, як правило, залишається сталим для даного матеріалу при однакових умовах. Наприклад, якщо ми маємо дві фарби з однаковим коефіцієнтом випромінювання, їхня інтенсивність інфрачервоного випромінювання буде однаковою, незалежно від їхнього кольору. Технічно це пояснюється тим, що коефіцієнт випромінювання детермінований властивостями самого матеріалу, а не його кольором [4].

2.2. Огляд законів, на яких базується вимірювання температурних значень пірометром

Закон випромінювання Кірхгофа встановлює зв'язок між енергією, що випромінюється або поглинається тілом, та його температурою. Згідно з цим законом, тіло, яке випромінює або поглинає енергію в певному спектрі, випромінює або поглинає більше енергії, коли його температура зростає. Цей закон є ключовим у розумінні теплового випромінювання та є одним із фундаментальних принципів термодинаміки. Закон випромінювання Кірхгофа має важливе значення в фізиці, техніці та інженерії, оскільки він дозволяє прогнозувати і визначати теплове випромінювання та поглинання різних матеріалів при різних умовах.

Закон Планка описує випромінювання електромагнітної енергії чорного тіла залежно від температури. Він був сформульований Максом Планком у 1900 році та відіграв ключову роль у розвитку квантової теорії.

$$B(\nu, T) = (2h\nu^3 / c^2) / (e^{(h\nu/kT)} - 1)$$

- $B(\nu, T)$ – спектральна щільність випромінювання,
- ν – частота випромінювання
- T – абсолютна температура чорного тіла,
- h – стала Планка,
- k – стала Больцмана,
- c – швидкість світла в вакуумі.

Цей закон розкриває залежність спектральної щільності енергії від температури та довжини хвилі.

Закон зміщення Віна описує зворотню залежність між довжиною хвилі, на яку припадає максимальна інтенсивність випромінювання чорного тіла, і його температурою. Цей закон важливий для розуміння

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спектральних характеристик випромінювання і використовується для визначення температури астрономічних об'єктів.

$$\lambda_{\text{max}} = b / T$$

- λ_{max} – довжина хвилі, на яку припадає максимальна інтенсивність випромінювання,
- T – абсолютна температура чорного тіла в кельвінах,
- b – стала Віна, яка дорівнює приблизно $2,897 \times 10^{-3}$ м·К.

Цей закон показує, що зі збільшенням температури чорного тіла довжина хвилі, на якій відбувається пікове випромінювання, зменшується. Тобто, чим гарячіше тіло, тим більш "синім" (або короткохвильовим) є його випромінювання. Наприклад, холодніші об'єкти, як зірки червоного гіганта, випромінюють переважно в інфрачервоному спектрі, тоді як більш гарячі зірки, як блакитні гіганти, мають пік випромінювання в ультрафіолетовому або видимому спектрі.

Закон зміщення Віна використовується для визначення температури зірок та інших астрономічних об'єктів на основі спектрального аналізу їхнього випромінювання. Це також корисно в технологіях, наприклад, для розробки тепловізійного обладнання та інфрачервоних детекторів.

Закон Стефана-Больцмана описує загальну потужність випромінювання, що випускається з поверхні чорного тіла в тепловому рівновазі через його абсолютну температуру.

Цей закон був виведений Йозефом Стефаном на основі експериментальних даних у 1879 році та теоретично пояснений Людвігом Больцманом у 1884 році.

$$P = \sigma A T^4$$

- P – потужність випромінювання (енергія випромінювана в часі), вимірювана в ватах (Вт),

– σ – стала Стефана-Больцмана, дорівнює приблизно $5.67 \times 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$,

– A – площа поверхні чорного тіла в квадратних метрах (м^2),

– T – абсолютна температура чорного тіла в кельвінах (К).

Закон Стефана-Больцмана показує, що загальна кількість випроміненої енергії з поверхні чорного тіла пропорційна четвертому степеню його температури. Це означає, що з невеликим збільшенням температури поверхні енергія, яку вона випромінює, зростає значно.

Закон Стефана-Больцмана застосовується в багатьох галузях науки та техніки, зокрема в астрофізиці для визначення температур зірок, в кліматології для моделювання теплового балансу Землі, а також в техніках охолодження та нагрівання, де важливо враховувати тепловіддачу через випромінювання.

2.3. Висновки до розділу 2

Закони випромінювання, такі як закон Кірхгофа, закон Планка, закон зміщення Віна та закон Стефана-Больцмана, описують зв'язок між температурою, енергією та спектром випромінювання чорного тіла. Ці закони є фундаментальними принципами фізики та мають широке застосування в різних галузях науки та техніки.

Значення законів випромінювання:

– астрофізика: визначення температур зірок та інших небесних тіл.

– кліматологія: моделювання теплового балансу Землі.

– інженерія: розробка тепловізійних камер, інфрачервоних детекторів, систем охолодження та нагрівання.

– фізика: розуміння теплового випромінювання, квантової теорії та термодинаміки.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливість чорного тіла:

Чорне тіло - це ідеальний випромінювач та поглинач електромагнітного випромінювання. Вивчення випромінювання чорного тіла дозволяє зрозуміти поведінку реальних тіл, які відхиляються від ідеальної чорної поверхні в більшій чи меншій мірі.

Закони випромінювання та концепція чорного тіла є ключовими для розуміння фундаментальних принципів фізики та мають широкий спектр практичних застосувань.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

3.1 Аналіз об'єкта контролю

Об'єктом контролю в даному дослідженні є температура ізоляції проводу ПВ-3 1x6,0. Цей провід являє собою мідний провідник з ізоляцією з полівінілхлориду, який має переріз 6 мм².

Провід ПВ-3 1x6,0 призначений для використання в електричних мережах низької напруги, зазвичай до 450/750 В. Він застосовується для підключення різноманітних електричних приладів, освітлення та розеток у житлових, комерційних та промислових будівлях.

Для забезпечення якісного нанесення ізоляційного шару на провід ПВ-3 1x6,0 важливо дотримуватися певних температурних умов під час процесу екструзії. Температура екструзії полівінілхлориду має варіюватися в діапазоні від 190 до 200 градусів Цельсія. Цей температурний діапазон є критичним для забезпечення належної якості ізоляції, оскільки впливає на фізичні та хімічні властивості ПВХ, а також на його адгезію до мідного провідника. Точна

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура дозволяє матеріалу рівномірно розподілитися та створити однорідний і міцний ізоляційний шар.

Температурні умови нанесення ізоляції мають значний вплив на її якість і надійність. Якщо температура екструзії занадто висока, це може призвести до плавлення або навіть пошкодження ПВХ-ізоляції, що негативно впливає на її механічні властивості та знижує стійкість до електричних навантажень. З іншого боку, недостатня температура може спричинити недостатню адгезію ізоляційного матеріалу до провідника. Це може призвести до нестабільності ізоляції, зниження її міцності та погіршення електричних характеристик проводу.

Важливим параметром контролю є відстань, на якій здійснюється вимірювання температури ізоляції. У даному випадку контроль температури здійснюється на відстані 15 см від поверхні проводу. Ця відстань вибрана для забезпечення точного вимірювання температури безпосередньо під час процесу екструзії, що дозволяє оцінити температурні умови навколо проводу. Такий підхід забезпечує контроль якості ізоляційного шару в реальних умовах виробництва.

3.2 Обґрунтування вибору чотиріканального радіаційного пірометра

Для вимірювання температури ізоляції проводу ПВ-3 1x6,0 було обрано радіаційний пірометр. Це рішення базується на декількох ключових факторах, які роблять цей прилад найкращим для даного завдання [6]:

– безконтактне вимірювання: радіаційний пірометр здійснює вимірювання температури безконтактним методом, що є критичним для процесу екструзії, де прямий контакт з матеріалом може порушити виробничий процес або пошкодити ізоляційний шар.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– висока точність: радіаційні пірометри відомі своєю високою точністю, що є важливим для контролю температури в межах вузького діапазону (150-200 градусів Цельсія). Це дозволяє забезпечити стабільність температурних умов і, як наслідок, високу якість ізоляційного шару.

– швидкість реакції: процес екструзії вимагає швидкого реагування на зміни температури, і радіаційні пірометри мають здатність миттєво відображати зміни, що дозволяє оперативно коригувати технологічні параметри.

У серійному виробництві проводу ПВ-3 1х6,0 важливо забезпечити одночасний контроль на декількох лініях виробництва. Для цього ідеально підходить чотириканальний радіаційний пірометр, який дозволяє здійснювати моніторинг температури одночасно на чотирьох різних виробничих лініях. Переваги використання чотириканального радіаційного пірометра включають:

– підвищення ефективності виробництва: одночасний контроль температури на декількох лініях дозволяє швидко виявляти та усувати відхилення від заданих параметрів, що зменшує кількість бракованої продукції і підвищує загальну ефективність виробництва.

– зниження витрат: використання одного багатоканального приладу замість кількох окремих пірометрів знижує витрати на обладнання та його обслуговування. Це також спрощує процес калібрування та технічного обслуговування приладів.

– поліпшення якості продукції: безперервний моніторинг температури на всіх виробничих лініях забезпечує стабільність технологічного процесу, що сприяє виробництву проводу з високими якісними характеристиками.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Аналоги обраного пірометра

PyroCube XS - це інфрачервоний пірометр, розроблений компанією Calex Electronics, для вимірювання температури дуже малих об'єктів з високою точністю. Він використовується в різних галузях, де важливо отримати точні дані про температуру безконтактно

Основні характеристики PyroCube XS [2]:

- маленька точка вимірювання: PyroCube XS має точку вимірювання діаметром 0,5 мм, що дозволяє йому вимірювати температуру дуже малих об'єктів, таких як мікросхеми, LED-лампи, та інші дрібні компоненти.
- швидкий час відгуку: PyroCube XS має час відгуку 1 мс, що робить його ідеальним для вимірювання температури динамічних об'єктів.
- широкий діапазон вимірювань: PyroCube XS може вимірювати температуру в діапазоні від -50°C до 1000°C .
- висока точність: PyroCube XS має точність $\pm 1\%$ від значення вимірювання або $\pm 1^{\circ}\text{C}$, що залежно від того, яке значення більше.
- простий у використанні: PyroCube XS має простий інтерфейс з дисплеєм, що робить його легким у використанні.
- компактний дизайн: PyroCube XS має компактний дизайн, що робить його зручним для перенесення та використання в обмежених просторах.

Сфери застосування PyroCube XS:

- електроніка: вимірювання температури мікросхем, друкованих плат, LED-ламп та інших електронних компонентів.
- медицина: вимірювання температури шкіри, тканин та інших біологічних об'єктів.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- наукові дослідження: вимірювання температури матеріалів, хімічних реакцій та інших фізичних явищ.
- промисловість: вимірювання температури деталей машин, плавильних печей та інших промислових об'єктів.
- якість продукції: контроль якості продукції, де важливо витримувати точні температурні режими.

Переваги PyroCube XS:

- висока точність та швидкий час відгуку: PyroCube XS забезпечує точні дані про температуру дуже малих об'єктів з високою швидкістю.
- широкий діапазон вимірювань: PyroCube XS може вимірювати температуру в широкому діапазоні, що робить його універсальним інструментом.
- простий у використанні та компактний дизайн: PyroCube XS зручний у використанні та транспортуванні.
- різні моделі: PyroCube XS доступний в декількох моделях з різними діапазонами вимірювань та функціями.



Рис. 3.1. PyroCube XS

PyroUSB - це інфрачервоний пірометр від Calnex Electronics, який використовується для вимірювання температури з відстані без

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакту з об'єктом. Він підключається до комп'ютера через USB-інтерфейс, що робить його зручним для використання в лабораторіях, на виробництві та в інших середовищах, де потрібні точні дані про температуру.

Ось основні характеристики PyroUSB:

- широкий діапазон вимірювань: PyroUSB може вимірювати температуру в діапазоні від -50°C до 600°C .
- висока точність: PyroUSB має точність $\pm 1\%$ від значення вимірювання або $\pm 1^{\circ}\text{C}$, що залежно від того, яке значення більше.
- швидкий час відгуку: PyroUSB має час відгуку 1 мс, що робить його ідеальним для вимірювання температури динамічних об'єктів.
- інтерфейс USB: PyroUSB підключається до комп'ютера через USB-інтерфейс, що робить його простим у використанні та сумісним з більшістю операційних систем.
- програмне забезпечення: PyroUSB поставляється з програмним забезпеченням, яке дозволяє користувачам переглядати та аналізувати дані про температуру.

PyroUSB може використовуватися в різних сферах:

- лабораторії: вимірювання температури хімічних реакцій, біологічних зразків та інших лабораторних об'єктів.
- виробництво: вимірювання температури деталей машин, плавильних печей та інших промислових об'єктів.
- контроль якості: контроль якості продукції, де важливо витримувати точні температурні режими.
- наукові дослідження: вимірювання температури матеріалів, хімічних реакцій та інших фізичних явищ.
- електроніка: вимірювання температури мікросхем, друкованих плат, LED-ламп та інших електронних компонентів.

Переваги PyroUSB:

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока точність та швидкий час відгуку: PyroUSB забезпечує точні дані про температуру з високою швидкістю.
- широкий діапазон вимірювань: PyroUSB може вимірювати температуру в широкому діапазоні, що робить його універсальним інструментом.
- інтерфейс USB: PyroUSB простий у використанні та сумісний з більшістю операційних систем.
- програмне забезпечення: PyroUSB поставляється з програмним забезпеченням, яке дозволяє користувачам переглядати та аналізувати дані про температуру.
- компактний дизайн: PyroUSB має компактний дизайн, що робить його зручним для перенесення та використання в обмежених просторах.



Рис. 3.2. PyroUSB

Табл. 2.1. Порівняння аналогів

Характеристика	PyroCube XS	PyroUSB
Температурний діапазон	50°C - 500°C (XSA)	- 40°C до +1000°C
Розмір плями	Від 0.7 мм	Від 1 мм
Час відгуку	10 мс (XSA)	Від 240 мс
Вихідні сигнали	0-20 мА, 4-20 мА, мВ/°C	USB

Інтерфейс	Опціональний РМ030	USB інтерфейс
Особливості	Вбудований LED, точне визначення вимірюваної області	Легке підключення до ПК

Загальні відмінності:

- швидкість вимірювань: PyroCube XS має значно швидший час відгуку, що робить його придатним для вимірювання температури швидко рухомих об'єктів. PyroUSB має помірний час відгуку.
- підключення: PyroUSB має зручне підключення до ПК через USB, що дозволяє легко інтегрувати його в існуючі системи моніторингу та запису даних.
- застосування: PyroCube XS краще підходить для високошвидкісних промислових процесів, тоді як PyroUSB є універсальним рішенням для загальних промислових застосувань.

Вибір між PyroCube XS та PyroUSB залежить від конкретних потреб вашого процесу. Якщо потрібне високошвидкісне вимірювання температури, PyroCube XS є кращим вибором. Якщо важливі зручність підключення та універсальність, PyroUSB буде оптимальним варіантом.

3.4 Розробка оптичної системи пірометра

Перед тим, як розпочати моделювання оптичної системи, необхідно визначити матеріал для виготовлення лінзи, який є одним з ключових факторів її ефективності. Важливо враховувати здатність матеріалу пропускати випромінювання. Лінзи пірометрів повинні пропускати хвилі певного діапазону, зокрема видимого та інфрачервоного спектрів.

Для нашого приладу було обрано датчик MLX90614, який працює в діапазоні 5,5-14 мкм. Це означає, що лінзи для пірометра мають бути виготовлені з матеріалу, який ефективно пропускає хвилі цього

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазону. До таких матеріалів належать германій (2-15 мкм), цинк сульфід (1-14 мкм) та полімер Poly IR (8-14 мкм).

Найпоширенішим матеріалом для лінз у пірометрах є полімер Poly IR. Цей матеріал дозволяє виробляти простіші за конструкцією, компактніші та дешевші пристрої, які, водночас, залишаються точними при вимірюванні температури. Ще однією перевагою полімерних лінз є їх стійкість до механічних пошкоджень, таких як падіння [3].

Враховуючи властивості лінз, що використовуються у пірометрах, ми обрали лінзи Френеля. Ці лінзи ефективно концентрують теплове випромінювання та передають його на датчик. Завдяки своїм компактним розмірам, невеликій вазі та доступній ціні, лінзи Френеля знайшли широке застосування у пірометрах. Їхня здатність фокусувати випромінювання робить їх ідеальним вибором для таких приладів.

Лінза Френеля має складну конструкцію, що складається з тонких концентричних кілець. Така будова дозволяє зберегти фокусуєчі властивості традиційної лінзи, але при цьому зменшити її габарити і вагу. На рисунку 3.3 показано загальний вигляд лінзи Френеля та її поперечний розріз у порівнянні з традиційною лінзою.

Як видно з рисунка, лінза Френеля має ступінчасту структуру, що відрізняє її від гладкої сферичної поверхні звичайної лінзи. Кожна сходинка може розглядатися як окрема маленька лінза. Ця конструкція дозволяє фокусувати світло аналогічно традиційній лінзі, але з меншими розмірами та вагою. Таким чином, вибір матеріалу і типу лінзи є важливими етапами при розробці оптичної системи пірометра. Завдяки використанню полімерних матеріалів та лінз Френеля ми можемо створити компактні, ефективні та надійні пристрої для безконтактного вимірювання температури.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

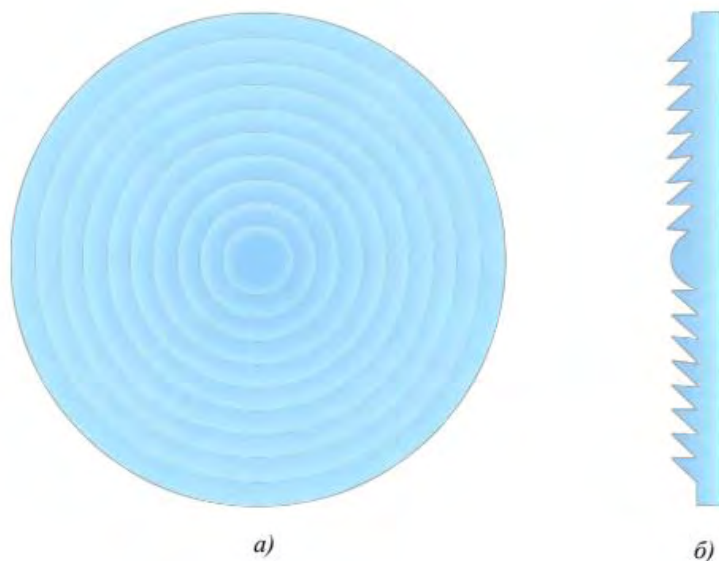


Рис. 3.3. Загальний вигляд лінзи Френеля

3.5 Розробка оптичної системи пірометра в програмі Zemax

Програма Zemax ідеально підходить для розробки оптичної системи пірометра завдяки своїм потужним можливостям моделювання, оптимізації та аналізу. Вона дозволяє детально відтворювати фізичні властивості матеріалів і компонентів, таких як лінзи та дзеркала, що критично важливо для точного підбору та оптимізації елементів системи. Інструменти для оптимізації забезпечують мінімальні аберації та максимальну ефективність передачі випромінювання до датчика, а всебічний аналіз продуктивності допомагає оцінювати поле зору, оптичну роздільну здатність та інші важливі параметри.

Zemax має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що спрощує процес моделювання навіть для складних систем. Інструменти візуалізації дозволяють легко аналізувати результати та вносити необхідні корективи. Програма підтримує моделювання

широкого спектру оптичних компонентів, включаючи лінзи Френеля, що надає велику гнучкість у проектуванні [12].

Визнання Zemax у галузі, надійність та наявність великої кількості навчальних матеріалів і технічної підтримки забезпечують високу якість результатів. Це робить Zemax оптимальним вибором для створення ефективної та точної оптичної системи пірометра, яка відповідатиме всім вимогам нашого проекту.

Для моделювання ОС нашого пірометра, була обрана одна лінза Френеля. Для моделювання нашої лінзи в програмі Zemax було задані такі параметри.

The image shows two windows from the Zemax software. The top window, 'Lens Data Editor', displays the following table:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.000	0.
STO	Standard		Infinity	27.000		7.500 U	0.
2	Non-Seque..		Infinity	-		8.000 U	0.
3	Standard		Infinity	8.000		8.000 U	0.
4*	Standard		Infinity	1.913		5.000 U	0.
IMA	Standard		Infinity	-		2.000 U	0.

The bottom window, 'Non-Sequential Component Editor: Component Group on Surface 2', displays the following table:

Object	Type	Comment	Ref Object	Inside Of	X Position	Y Position	Z Position
1	Fresnel 1		0	0	0.000	0.000	0.000

Рис. 3.4. Параметри лінзи Френеля в програмі Zemax

Лінза має діаметр: 16мм та товщину 1мм. Лінза збирає теплове випромінювання від об'єкта і спрямовує його на приймач, який знаходиться на відстані 8 мм від лінзи. Діаметр приймача - 4 мм.

Результати розрахунків представили модель оптичної системи, що зображена на рис. 3.5

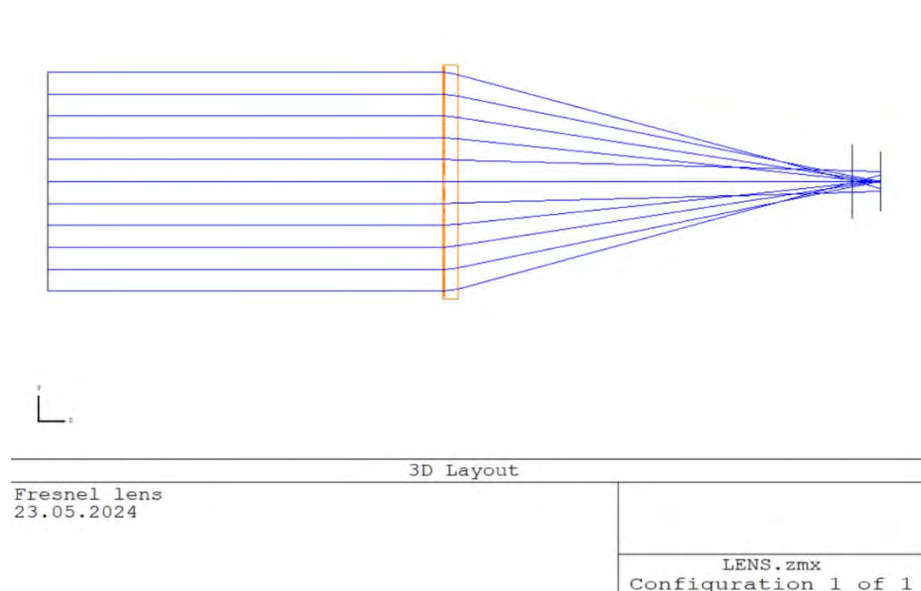


Рис. 3.5. Модель оптичної системи

Окрім створення 3D-моделі оптичної системи, програмне забезпечення Zemax дозволило отримати загальний вигляд тіньової моделі, як показано на рис. 3.6

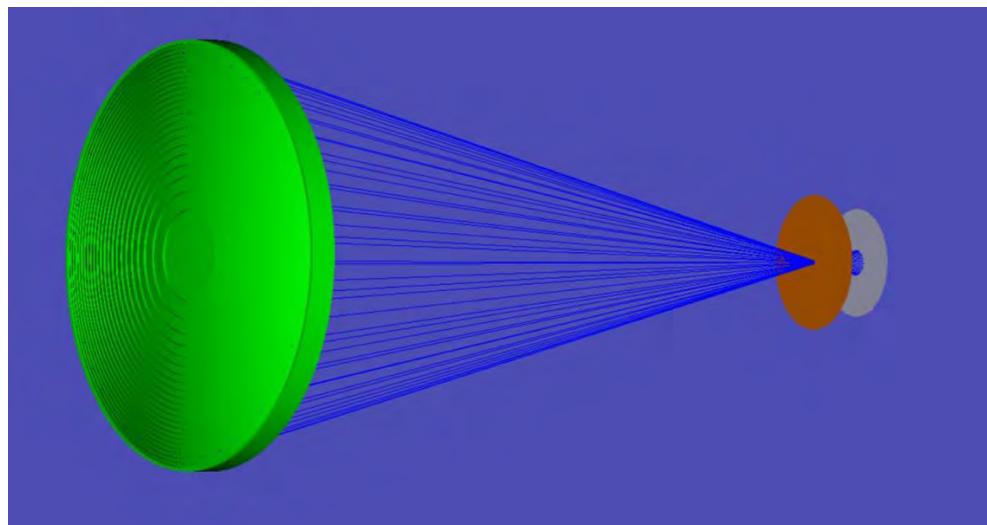


Рис. 3.6. Вигляд тіньової моделі

Проведемо оцінювання залежності рівня концентрації теплового випромінювання від розміру ділянки приймача, на яку випромінювання потрапляє в площині зображення, див. рис. 3.7 .

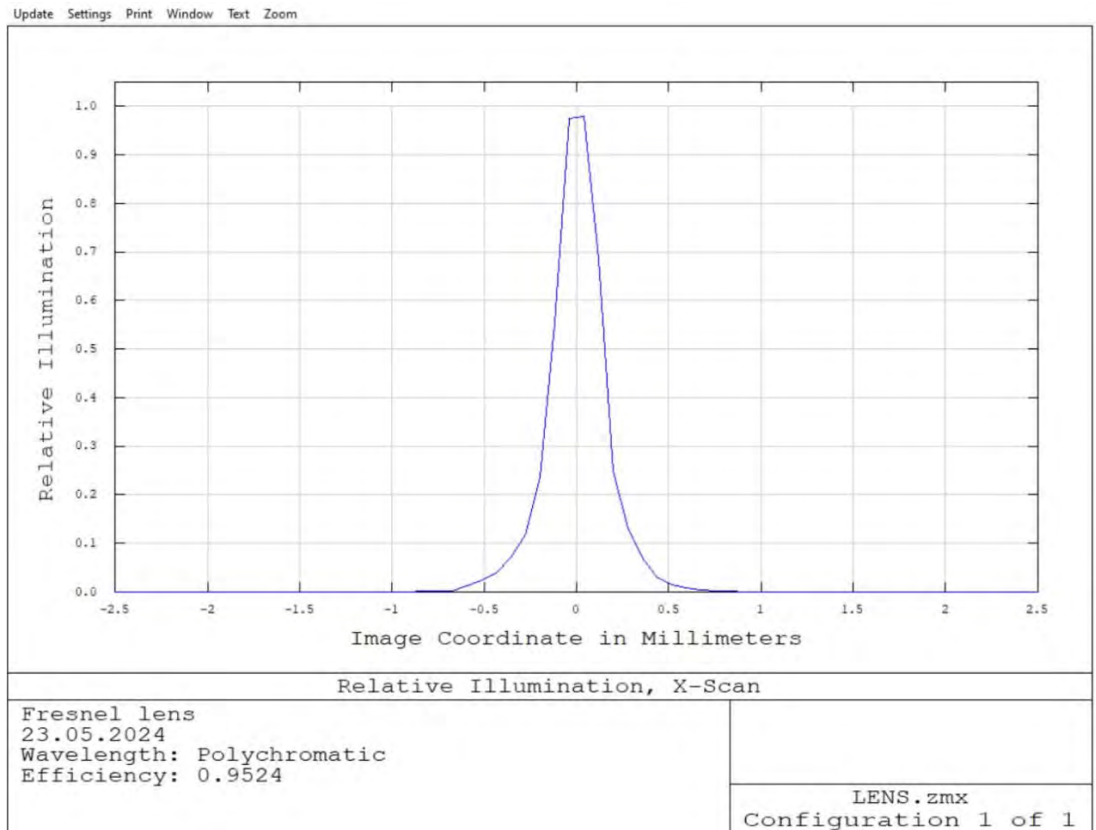


Рис. 3.7. Графік фокусування теплового випромінювання на приймач

Функція «Illumination XY Scan» дозволила створити двовимірний графік залежності. Використовуючи функцію «Illumination 2D Surface», побудуємо площину з колірним представленням інтенсивності випромінювання [12].

З діаграми інтенсивності на рис. 3.8. випромінювання видно, що рівень ефективності обраної оптичної системи становить 96,23%.

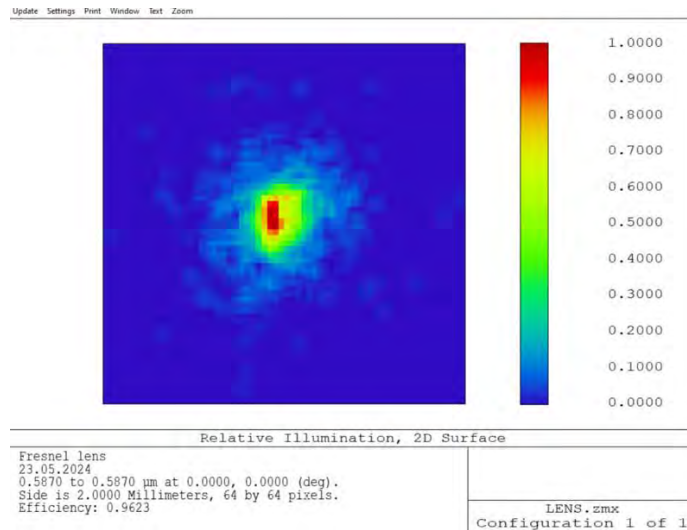


Рис. 3.8. Діаграми інтенсивності випромінювання

Розрахунки були проведені для довжин хвиль від 8 до 14 мкм. Отримані результати свідчать про достатню ефективність системи для подальшого створення точного приладу для безконтактного вимірювання температури. Загальний вигляд лінзи в оптичній системі пірометра представлений на рис. 3.9 .

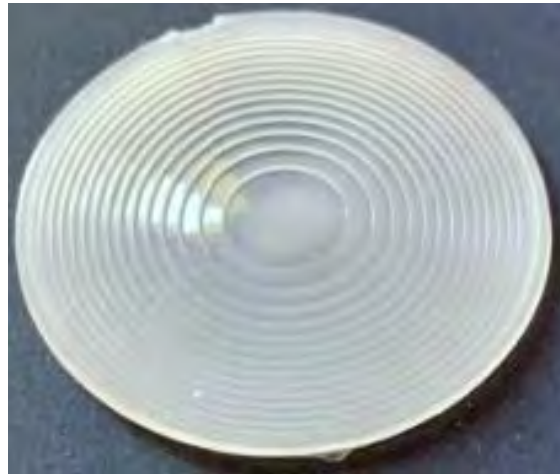


Рис. 3.9. Загальний вигляд лінзи Френеля

На основі проведених розрахунків та отриманих результатів можна стверджувати, що змодельована оптична система є достатньо ефективною. Завдяки цій системі ми зможемо створити компактний та достатньо точний прилад.

3.6 Функціональна схема пірометра

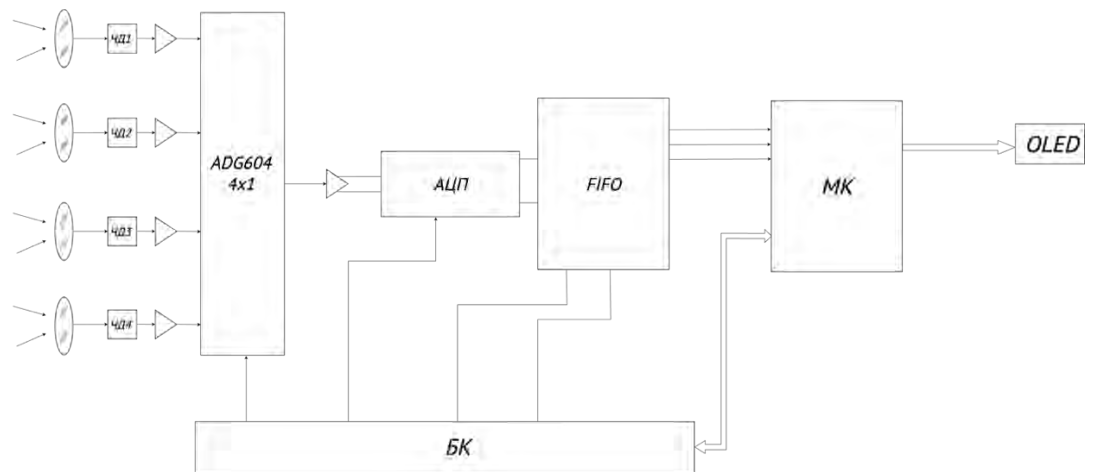


Рис. 3.10. Функціональна схема пірометра

Опис схеми пірометра:

У схемі на рис. 3.10 представлені наступні елементи:

- ЧД1-ЧД4 - чутливі датчики (інфрачервоні пірометри), які зчитують інфрачервоне випромінювання від об'єктів.
- ADG604 4x1 - мультиплексор, який об'єднує сигнали з чотирьох каналів (чутливих датчиків) і передає їх на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП).
- АЦП - аналогово-цифровий перетворювач, який конвертує аналоговий сигнал з мультиплексора у цифровий сигнал.
- FIFO - пам'ять типу First In, First Out, яка тимчасово зберігає цифрові дані для подальшої обробки мікроконтролером (МК).
- МК - мікроконтролер, який керує процесом зчитування даних, їх обробкою та передачею на дисплей.
- OLED - дисплей, який відображає оброблені дані (температуру) в зручному для користувача вигляді.
- БК - блок керування, який синхронізує роботу всіх компонентів схеми.

Принцип роботи:

- зчитування даних: чотири інфрачервоні чутливі датчики (ЧД1-ЧД4) зчитують інфрачервоне випромінювання від об'єктів.
- об'єднання сигналів: ультимплексор ADG604 об'єднує сигнали з чотирьох датчиків та передає їх на вхід аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).
- Конвертація сигналів: АЦП конвертує аналоговий сигнал у цифровий для подальшої обробки.
- Тимчасове зберігання: Цифровий сигнал зберігається у пам'яті FIFO, що дозволяє зберегти послідовність даних.
- Обробка даних: Мікроконтролер (МК) зчитує дані з FIFO, обробляє їх і готує для відображення на дисплеї.
- Відображення результатів: Оброблені дані передаються на OLED-дисплей для візуалізації користувачу.
- Синхронізація роботи: Блок керування (БК) забезпечує синхронізацію роботи всіх компонентів, від зчитування даних до їх відображення на дисплеї.

Дана схема демонструє класичний підхід до побудови системи з багатоканальним зчитуванням даних, їх тимчасовим зберіганням та обробкою для виведення на дисплей. Використання пам'яті FIFO забезпечує коректне впорядкування даних для подальшої обробки, а мікроконтролер з'єднує всі компоненти, забезпечуючи надійну та ефективну роботу системи.

3.7 Опис алгоритму зчитування і контролю температури з чотирьох приймачів випромінювання

Даний алгоритми описує процес роботи нашого прототипу і забезпечує точну роботу чотириканального пірометра:

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ініціалізація системи: спочатку ініціалізуються приймачі випромінювання та дисплей, на який будуть виводитись дані.
- основний цикл: алгоритм працює в нескінченному циклі, постійно зчитуючи дані з приймачів і перевіряючи їх.
- зчитування температури з приймачів: зчитуються температурні показники з кожного з чотирьох приймачів випромінювання.
- перевірка температури: кожна зчитана температура перевіряється на вихід за межі допустимого діапазону (190-200 градусів). Якщо температура якогось приймача виходить за межі цього діапазону, на дисплей виводиться повідомлення про помилку, вказуючи який саме приймач має неправильну температуру.
- виведення даних на екран: після перевірки, незалежно від результату, на екран виводяться поточні температурні показники всіх чотирьох приймачів.
- затримка перед наступним циклом: в кінці кожного циклу робиться затримка на 1 секунду (1000 мілісекунд) перед тим, як почати зчитувати нові дані.

Цей процес повторюється нескінченно, забезпечуючи постійний моніторинг температури і своєчасне сповіщення про вихід за допустимий діапазон.

3.8 Код на основі якого працює пірометр

Доступ за домовленістю з авторами

Пояснення коду:

- імпорт бібліотек: використовуються бібліотеки для роботи з MLX90614 та OLED-дисплеєм.
- оголошення адрес сенсорів: адреси для чотирьох пірометрів MLX90614.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– ініціалізація пірометрів та дисплея: в setup проводиться ініціалізація пірометрів та OLED-дисплея.

– основний цикл: в loop зчитуються температурні дані з кожного пірометра та виводяться на дисплей. Якщо температура виходить за межі 190-200°C, на дисплеї відображається повідомлення про помилку.

Цей код забезпечує точну роботу чотириканального пірометра та постійний моніторинг температури з можливістю сповіщення про вихід за допустимі межі.

3.9 Висновки до розділу 3

В даній роботі представлено розробку чотириканального пірометра, призначеного для безконтактного вимірювання температури ізоляції проводу ПВ-3 1x6,0. Цей інструмент є важливим елементом контролю якості на виробництві проводу, адже дозволяє одночасно моніторити температуру на чотирьох лініях та своєчасно реагувати на будь-які відхилення від заданих параметрів.

Для вимірювання температури використовується метод пірометрії, який ґрунтується на реєстрації інфрачервоного випромінювання. Пірометр має чотири канали, що забезпечує одночасний контроль температури на чотирьох виробничих лініях.

Оптична система пірометра складається з лінзи Френеля з полімерного матеріалу, яка вирізняється компактністю, легкістю, стійкістю до механічних пошкоджень та широким діапазоном пропускання інфрачервоного випромінювання.

Електронна схема пірометра включає в себе чотири інфрачервоні чутливі датчики, мультиплексор, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), FIFO-пам'ять, мікроконтролер (МК) та OLED-дисплей. Кожен

з цих компонентів виконує важливу функцію в процесі вимірювання та обробки даних.

Детальна схема роботи пірометра описує синхронізацію роботи всіх компонентів та процес обробки даних. Алгоритм зчитування і контролю температури чітко описує послідовність дій, включаючи зчитування даних, перевірку температури, виведення даних на екран та затримку перед наступним циклом.

Розроблений чотириканальний пірометр має ряд суттєвих переваг:

- ефективність: одночасний контроль температури на чотирьох виробничих лініях.
- точність: використання якісних компонентів та сучасних методів обробки даних гарантує точні результати вимірювання.
- надійність: проста та стійка конструкція пірометра забезпечує його довговічність та безперебійну роботу.
- компактність: завдяки використанню лінзи Френеля та сучасних електронних компонентів пірометр має компактні розміри та зручний для транспортування.

Сфера застосування пірометра охоплює всі етапи виробництва проводу ПВ-3 1х6,0, де важливо контролювати температуру ізоляції. Цей інструмент буде корисним для виробників кабельної продукції, а також для лабораторій та науково-дослідних інститутів.

Розробка чотириканального пірометра є важливим кроком у вдосконаленні системи контролю якості на виробництві проводу ПВ-3 1х6,0. Цей інструмент дозволяє забезпечити випуск продукції з високими характеристиками та гарантувати її відповідність всім вимогам безпеки.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ПІРОМЕТРА

4.1 Аналіз компонентів пірометра

Для реалізації проекту обрано платформу Arduino Nano v3.0, яка є компактною платою з мікроконтролером ATmega328P, що має 10-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Зовнішній вигляд цієї плати представлений на рис. 4.1 [10].

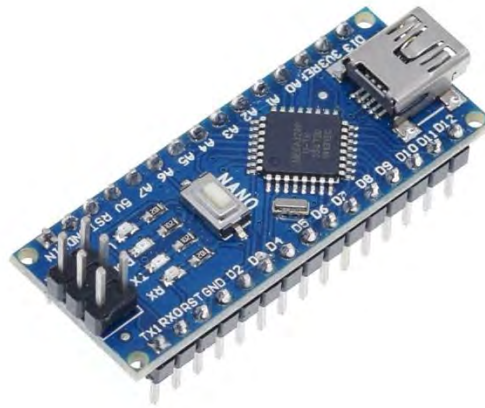


Рис. 4.1. Зовнішній вигляд Arduino Nano v3.0

Переваги використання Arduino Nano v3.0 для пірометра:

- легкість у підключенні без необхідності додаткової пайки, завдяки спеціальним макетним дошкам, перемичкам і проводам.
- компактні розміри, що дозволяють створювати мініатюрні пристрої.
- вбудований програматор для налаштування системи через комп'ютер за допомогою USB-кабелю.
- доступність і простота використання, що економить час.

– кроссплатформеність – програмне забезпечення працює в операційних системах macOS, Windows і Linux.

– Високі технічні характеристики.

Arduino визнана найпопулярнішою апаратно-програмною платформою завдяки своїй багатофункціональності та зручності. Технічні характеристики Arduino Nano v3.0 наведені в таблиці 4.1 [10]

Табл. 4.1. Технічні характеристики Arduino Nano v3.0

Характеристики	Параметри
Напруга живлення	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
Вхідна напруга (гранична)	6-20 В
Цифрові виходи I/O	14 ліній (6 з них – ШІМ)
Максимальний струм на виході I/O	40 мА (для кожного виводу)
Максимальний струм на виході 3,3V	50 мА
Flash-пам'ять	32 КБ, з яких 2 КБ використовується завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри	45 × 18 мм
Вага	6 г

ATMega328P, використовуваний в цьому проекті, є 8-бітним CMOS мікроконтролером з сімейства AVR, побудованим на покращеній RISC-архітектурі, що дозволяє виконувати більшість команд за один такт. Основні характеристики цього мікроконтролера включають вбудовану флеш-пам'ять об'ємом 32 КБ, SRAM-пам'ять об'ємом 2 КБ і EEPROM об'ємом 1 КБ. МК містить 8-канальний 10-бітний АЦП з роздільною здатністю $5 \text{ В}/1024 = 0,0049 \text{ В}$. Для зчитування значень з аналогового входу потрібно 100 мікросекунд (0,0001 с), що дозволяє досягти максимальної частоти зчитування даних до 10 кГц. Продуктивність мікроконтролера: 0-4 МГц при 1,8-5,5 В, 0-10 МГц при 2,7-5,5 В і 0-20 МГц при 4,5-5,5 В. Зовнішній вигляд ATMega328P наведений на рис. 4.2.

Мікроконтролер має 32 виводи і тип корпусу «TQFP 32A». Використовуючи цифрові виходи RX та TX, мікроконтролер здійснює зв'язок через послідовний інтерфейс UART. Також ATMega328P підтримує послідовні інтерфейси I2C та SPI. Мікросхема CH340G забезпечує зв'язок приймача з USB-портом комп'ютера.



Рис. 4.2. Мікроконтролер ATMega328P

Для відображення даних обрано OLED-дисплей 1,3" I2C (128×64), оскільки він забезпечує більшу площу відображення в порівнянні з 0,96" дисплеями. OLED-дисплеї, на відміну від рідкокристалічних дисплеїв, не потребують підсвічування, що дозволяє зручно користуватися пристроєм навіть у темряві (рис. 4.3). Технічні характеристики OLED-дисплея наведені в таблиці 4.2 .



Рис. 4.3. OLED-дисплей

Табл. 4.2. Технічні характеристики OLED-дисплея

Характеристики	Параметри
Тип дисплея	Графічний, на основі органічних світлодіодів
Роздільна здатність	128×64 пікселів
Інтерфейс	I2C, підтримується Arduino, WeMos, STM32, MSP430
Кут огляду	> 160°
Енергоспоживання	0,08 В (при світінні всього екрану)
Кількість кольорів	Білий та чорний (монохромний)
Напруга живлення	3...5 В
Яскравість	> 120 кд/м ²
Колір пікселів	Білий
Коефіцієнт контрастності	10000:1

Час відгуку	< 10 мкс
Робоча температура	-40...85°C
Габарити	30×30 мм
Вага	4 г

Для безконтактного вимірювання температури було обрано модуль MLX90614. Цей датчик має широкий спектр застосувань, включаючи вимірювання температури рухомих або важкодоступних об'єктів, що важливо для нашого проекту (рис. 4.4). Технічні характеристики MLX90614 наведені в таблиці 4.3 .



Рис. 4.4. Модуль безконтактного термометра MLX90614

Табл. 4.3. Технічні характеристики модуля MLX90614

Характеристики	Параметри
Калібрування	Заводське
Температурний робочий діапазон	-40...85°C
Діапазон вимірювань	-70...380°C
Інтерфейс	SMBus або PWM
Точність вимірювань	0,5°C для діапазону в 0...50°C
Напруга живлення	4,5...5 В
Роздільна здатність	0,02°C
Розміри	16×11 мм

Для об'єднання сигналів з чотирьох приймачів випромінювання був обраний мультиплексор ADG604 4x1. Цей компонент дозволяє вибирати один з чотирьох вхідних сигналів і передавати його на вихід для подальшої обробки. Технічні мультиплексора ADG604 4x1 наведені в таблиці 4.4 .

Табл. 4.4. Технічні характеристики мультиплексора ADG604 4x1

Характеристики	Параметри
Кількість каналів	4 входи, 1 вихід
Напруга живлення	2.7 В до 5.5 В
Опір каналу	4 Ω
Час перемикання	20 нс
Струм витоку	1 нА
Інтерфейс керування	Паралельний
Діапазон робочих температур	-40°C до +85°C

Мультиплексор ADG604 4x1 був обраний завдяки його низькому опорі каналу та швидкому часу перемикання, що дозволяє ефективно об'єднувати сигнали з кількох приймачів без значних втрат якості. Низький струм витоку забезпечує високу точність вимірювань, а широкий діапазон робочих температур робить його надійним вибором для різних умов експлуатації.

4.2 3D модель прототипу

Для створення прототипу я використав платформу для 3D-моделювання та візуалізації Vectary. Вигляд 3D моделі прототипу наведений на рис. 4.5

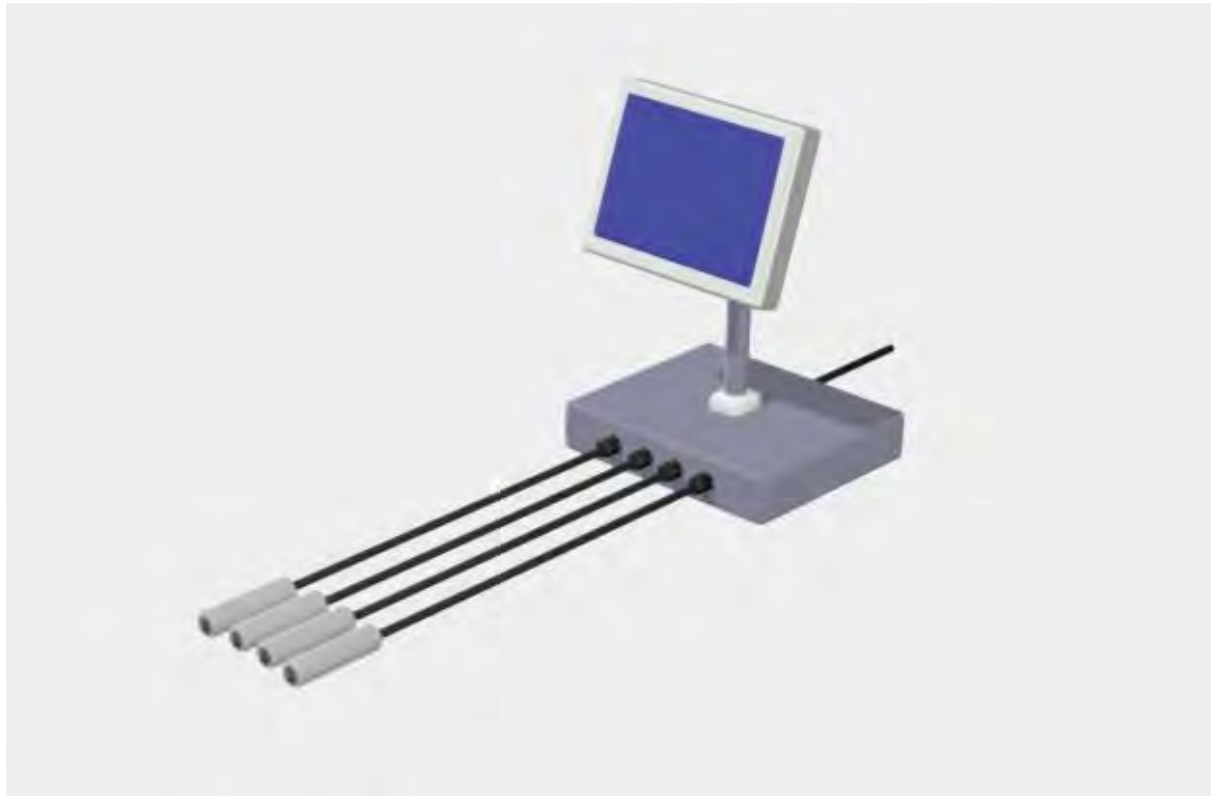


Рис. 4.5. 3D модель чотирьоканального пірометра

Представлений прототип пірометра складається з наступних основних елементів:

- чотири приймачі випромінювання (ЧД1-ЧД4)
- корпус пристрою
- OLED-дисплей
- підключення сенсорів до корпусу

На передньому плані прототипу розташовані чотири приймачі випромінювання, які з'єднані з корпусом пристрою через кабелі.

Корпус пристрою виконаний у вигляді прямокутного блоку, в якому розміщені основні електронні компоненти. В передній частині корпусу є чотири порти для підключення приймачів випромінювання. Кабелі від приймачів надійно закріплені, що забезпечує стабільне з'єднання.

OLED-дисплей розташований на верхній частині корпусу і прикріплений до нього за допомогою підставки. Дисплей під кутом,

що забезпечує зручний перегляд даних. На дисплеї відображаються температурні показники, отримані з приймачів.

Кабелі від приймачів випромінювання проходять через передню панель корпусу і підключені до внутрішніх компонентів пристрою. Це дозволяє зчитувати дані з кожного приймача та передавати їх для обробки і відображення на дисплеї.

Прототип пірометра демонструє компактний та функціональний дизайн, який забезпечує зручність у використанні та точність вимірювань. Використання OLED-дисплея дозволяє зручно відображати результати вимірювань, а надійне кріплення приймачів випромінювання забезпечує стабільність роботи пристрою.

4.2 Висновки до розділу 4

У даному розділі було детально розглянуто вибір основних компонентів для конструкції пірометра, включаючи апаратно-програмну платформу, дисплей, модуль безконтактного вимірювання температури та мультиплексор.

Вибір Arduino Nano v3.0 як основної апаратно-програмної платформи з мікроконтролером ATmega328P забезпечує високу продуктивність, легкість у підключенні та програмуванні, компактні розміри, а також сумісність з різними операційними системами. Це робить дану платформу ідеальною для побудови пірометра, що вимагає високої точності та надійності.

Для відображення даних було обрано OLED-дисплей 1,3" I2C (128×64), який забезпечує високий контраст, широкий кут огляду та низьке енергоспоживання. Його використання дозволяє чітко і зручно відображати температурні показники навіть у темних умовах, що є важливою характеристикою для пірометричних вимірювань.

Модуль MLX90614 був обраний для безконтактного вимірювання температури завдяки своїм високим технічним характеристикам, таким як широкий діапазон вимірювань, висока точність і низьке енергоспоживання. Він забезпечує надійне і точне вимірювання температури рухомих або важкодоступних об'єктів.

Мультиплексор ADG604 4x1 був обраний для об'єднання сигналів з чотирьох приймачів випромінювання завдяки його низькому опору каналу, швидкому часу перемикання та низькому струму витоку. Ці характеристики забезпечують високу точність і надійність вимірювань, що є критично важливим для роботи пірометра.

Загалом, обрані компоненти забезпечують високу точність, надійність і зручність у використанні пірометра. Компактний дизайн і продумані технічні рішення дозволяють ефективно реалізувати функції дистанційного вимірювання температури, роблячи цей пристрій конкурентоспроможним на ринку вимірювальних приладів.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВОК

Дипломний проект спрямований на розробку доступного, надійного та ефективного засобу для автоматизованого контролю температури з використанням безконтактних методів вимірювання. У процесі роботи над проектом було проведено всебічний аналіз сучасних інструментів для вимірювання температури, а також розроблено власне рішення, яке включає як апаратну, так і програмну частини.

Для створення пристрою було обрано компоненти, що забезпечують високу чутливість та надійність вимірювань. Основною апаратно-програмною платформою виступає мікроконтролер Arduino Nano v3.0 з мікроконтролером ATmega328P, який збирає дані з датчиків MLX90614. Пайка компонентів здійснена з урахуванням можливих проблем, пов'язаних з якістю припою та перегрівом елементів. Для забезпечення стабільної роботи пристрою всі компоненти були встановлені в захищену коробку, що знижує вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань.

Програмне забезпечення для пристрою розроблено з використанням середовища розробки Arduino IDE. Основний алгоритм включає зчитування даних з датчиків, їх фільтрацію та обчислення ковзного середнього значення. Особливу увагу приділено налаштуванню функцій для відправки повідомлень про вихід температури за межі допустимого діапазону, що забезпечує оперативне інформування користувачів про стан контролю.

Дослідження, проведені під час розробки, показали, що використання безконтактних методів вимірювання температури є ефективним і надійним способом моніторингу температури в різних умовах. Проведена калібрування датчиків та оптимізація програмного забезпечення дозволили досягти високої точності вимірювань.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблений пристрій здатний точно визначати навіть незначні зміни температури та своєчасно передавати інформацію про них.

Розроблений пристрій має великий потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Можливими напрямками вдосконалення є підвищення точності вимірювань шляхом використання більш чутливих сенсорів, інтеграція з іншими системами контролю, а також розширення функціональності програмного забезпечення. Крім того, можлива адаптація пристрою для використання в різних умовах, включаючи промислові середовища та регіони з різними кліматичними умовами.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сторожик Д.В. Автоматизація процесу теплового неруйнівного контролю шляхом застосування методу комплексування термограм. /Д.В. Сторожик, А.Г. Протасов, О.В. Муравйов, В.Ф. Петрик, Д.В. Петренко/ Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2022, №2, стор. 20-23. <https://doi.org/10.37434/tdnk2022.02.03>
2. PyroCube XS Focused Optics for Measuring Extremely Small Targets [Електронний ресурс] / IOThrifty. – UK, 2020. – Режим доступу: <https://www.iothrifty.com/products/pyrocube-xs-measuring-small-targets>. – (дата звернення: 04.03.2021). – Назва з екрану.
3. Коваленко В.Ф. Загальна фізика у прикладах, запитаннях і відповідях. Оптика : навчальний посібник / В. Ф. Коваленко, І. М. Халімонова, Н. П. Харченко, В. М. Стецюк. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 447 с.
4. Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // Journal of Optical Technology. – 2014. – vol. 81 (4).– P. 199-203.
5. Муравйов О. В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О.В. Муравйов, О.О. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.
6. Протасов А.Г. Многоканальный стенд для контроля температуры / А.Г. Протасов // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ, 2015. – № 49(1) . – С. 61-68.
7. Protasov A. Application of FEMLAB Software for Simulation of the Thermal Method for Nondestructive Testing. / A. Protasov //American Society for Engineering Education. Annual conference and Exposition. Austin, Texas, USA. June 14-17 2009, pp. 182-191.

					ПК 01.19.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

8. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.
9. 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 ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.
10. Arduino Docs | Arduino Documentation. (n.d.) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.arduino.cc/>
12. Zemax | Zemax Knowledgebase [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://support.zemax.com/hc/en-us>
13. Муравьёв А.В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А.В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11. 21. Petryk V.F. Smartphone-Based Automated Non-Destructive Testing Devices / V.F. Petryk, A.G. Protasov, R.M. Galagan, A.V. Muraviov, I.I. Lysenko // Прибори и методы измерений, 2020. – Т. 11, № 4. – С. 272-27
14. Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с
15. Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.

16. Автоматизація проєктування елементів оптичних приладів. Практикум : Навчальний посібник / О. В. Муравйов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 68 с.
17. Галаган Р.М., Муравьёв А.В., Томашук А.С. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов. Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій: матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. 2019. С. 169–171.

					<i>ПК 01.19.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		