

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій ПРОТАСОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи**  
**та технології неруйнівного контролю та діагностики»**  
**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані**  
**технології»**  
**на тему: «Прилад для безконтактного вимірювання температури»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК – 61  
Живкович Артур Владиславович

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

старший викладач, к.т.н.  
Муравйов Олександр Володимирович

\_\_\_\_\_

Консультант з графічної частини

старший викладач, к.т.н.  
Богдан Галина Анатоліївна

\_\_\_\_\_

Консультант з розробки принципової електричної схеми

доцент, к.т.н.  
Баженов Віктор Григорович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року



**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Прилад для безконтактного вимірювання**  
**температури»**

Київ – 2020 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів 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 неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРЖДУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій ПРОТАСОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Живковичу Артуру Владиславовичу**

1. Тема проєкту «Прилад для безконтактного вимірювання температури», керівник проєкту Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., старший викладач, затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 року № \_\_\_\_.
2. Строк подання студентом проєкту: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 року.
3. Вихідні дані до проєкту: кут поля зору  $2\omega = 1,2^\circ$ , робочій спектральний діапазон  $\Delta\lambda = 8 - 14$  мкм, діаметр вхідної зіниці оптичної системи  $D_{\text{вх.зіни.}} = 15$  мм, діапазон вимірюваних температур  $\Delta T = -70...380^\circ\text{C}$ .
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Теоретичні основи безконтактного вимірювання температури; Розділ 2. Проєктування пристрою безконтактного вимірювання температури; Розділ 3. Підбір комплектуючих для конструкції пристрою дистанційного вимірювання температури; Розділ 4. Концепція приладу безконтактного вимірювання температури та мобільного додатку.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема оптична, функціональна схема, принципова електрична схема, складальний кресленик, презентація доповіді.

#### 6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Принципова електрична схема	Баженов В.Г., доц., к.т.н.		
Графічна частина	Богдан Г.А., ст. викладач, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Збір та аналіз джерел інформації для написання дипломного проєкту. Складання бібліографії наукових джерел		
2.	Систематизація теоретичного матеріалу		
3.	Моделювання оптичної системи та її оптимізація		
4.	Підбір комплектуючих для конструкції приладу		
5.	Розробка креслеників та схем		
6.	Розробка приладу		
7.	Розробка концепту мобільного додатку		
8.	Формування загальних висновків		
9.	Остаточне оформлення дипломного проєкту		

Студент

Артур ЖИВКОВИЧ

Керівник

Олександр МУРАВЙОВ

## АНОТАЦІЯ

Метою дипломного проєкту є розробка приладу безконтактного вимірювання температури з додатковими функціями та мобільним додатком, що може використовуватися як на виробництві, так і у побуті.

У межах даного проєкту було досліджено теоретичні основи безконтактного вимірювання температури, спроектовано прилад дистанційного вимірювання температурних показників радіаційного типу, змодельована та розрахована оптична система приладу, здійснено підбір комплектуючих, розроблено принципову електричну схему, складальний кресленик та мобільний додаток для зручного управління приладом.

Робота викладена на 61 сторінці (без додатків), містить 7 таблиць, 36 рисунків, 4 графічних креслення та 19 літературних джерел.

*Ключові слова:* безконтактне вимірювання температури, пірометрія, пірометри часткового випромінювання, пірометри спектрального випромінювання, пірометри сумарного випромінювання, радіаційна температура, колірна температура, яскравісна температура, оптична система.

## ABSTRACT

The purpose of the diploma project is development of non-contact temperature measuring device with additional functions and mobile application that can be used both for production purposes and in everyday life.

Within this project the theoretical bases of non-contact temperature measurement were investigated, the remote measurement device of temperature indicators of radiation type was designed, optical system of the device was modeled and calculated, components were selected, functional and basic electric schemes, assembly drawings and mobile application for convenient device control were developed.

The work is presented on 61 pages (without supplements), contains 7 tables, 36 figures, 4 graphic drawings and 19 literature sources.

*Keywords:* non-contact temperature measurement, pyrometry, pyrometers of partial radiation, pyrometers of spectral radiation, pyrometers of total radiation, radiation temperature, color temperature, luminance temperature, optical system.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЧТ – абсолютно чорне тіло;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

АПП – апаратно-програмна платформа;

ПО – програмне забезпечення;

CMOS – complementary metal-oxide-semiconductor;

RISC – reduced instruction set computer;

SRAM – static random access memory;

EEPROM – electrically erasable programmable read-only memory;

OLED – organic light-emitting diode;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	8
1.1. Загальна класифікація засобів вимірювання температури, сфери застосування пірометрів та їх переваги над контактними термометрами.....	8
1.2. Фізичні основи пірометрії.....	12
1.3. Різновиди пірометрів та їх особливості.....	18
1.4. Принцип роботи пірометрів та їх схеми.....	20
1.5. Обґрунтування вибору пірометра радіаційного типу.....	24
1.6. Характеристика аналогів пристрою безконтактного вимірювання температури.....	25
1.7. Необхідність автоматизації процесу вимірювання температури.....	29
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	32
2.1. Моделювання оптичної системи пристрою безконтактного вимірювання температури.....	32
2.2. Функціональна схема пристрою безконтактного вимірювання температури.....	39
Висновки до розділу 2.....	41
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	42
3.1. Вибір апаратно-програмної платформи.....	42
3.2. Вибір дисплею.....	44
3.3. Вибір модуля безконтактного вимірювання температури.....	46

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Живкович А.В.			Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.					4		
Н. Контр.					ПБФ, ПК-61		
Затверд.		Муравйов О.В.					

Прилад для безконтактного  
вимірювання температури  
Пояснювальна записка

3.4. Вибір модуля вимірювання температури навколишнього середовища, вологості та тиску .....	47
3.5. Вибір модуля для бездротової передачі даних .....	48
3.6. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, лазерного вказівника, сенсорного датчика керування та контактного датчика температури .....	49
Висновки до розділу 3 .....	52
<b>РОЗДІЛ 4. КОНЦЕПЦІЯ ПРИЛАДУ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ</b>	
<b>ТЕМПЕРАТУРИ ТА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ .....</b>	<b>53</b>
4.1. Огляд функціоналу та принципу користування приладу безконтактного вимірювання температури.....	53
4.2. Огляд функціоналу прототипу мобільного додатку .....	54
Висновки до розділу 4 .....	58
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>59</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>60</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

*Актуальність теми дослідження.* Сьогодні більшість технологічних процесів на виробництві вимагають проведення температурного контролю. Показники температури мають вагомe значення, оскільки незначне відхилення від встановленої норми протікання будь-якого процесу або стабільного стану системи може призводити до небажаних або, навіть, катастрофічних наслідків. Контактне вимірювання температури є не завжди ефективним та доцільним, оскільки контактні прилади не придатні для виміру температури рухомих, важкодоступних об'єктів або тих, що знаходяться в небезпечних ділянках. У таких випадках говорять про безконтактні засоби вимірювання температури. У більшості такі засоби асоціюються саме з пірометрами. Проте, їх популярність обумовлена не лише необхідністю використання у промисловості та різних сферах науки, дані прилади активно використовуються і у побуті, завдяки своїй багатофункціональності, зручності та компактними розмірами.

*Мета дипломної роботи* полягає в розробці приладу безконтактного вимірювання температури та мобільного застосунку для нього.

Актуальність обраної теми роботи та її мета зумовлюють необхідність виконання наступних завдань:

- проаналізувати теоретичні основи безконтактного вимірювання температури;
- спроектувати макет приладу безконтактного вимірювання температури;
- здійснити підбір комплектуючих для приладу безконтактного вимірювання температури;
- здійснити розробку мобільного застосунку для ефективного управління приладом.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

*Структура та обсяг роботи.* Структурними одиницями даної роботи є вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Зміст роботи викладно на 61 сторінці, не враховуючи додатків. Дана робота містить 7 таблиць, 36 рисунків та 4 графічних креслення. Список використаних джерел налічує 19 посилань.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

## 1.1. Загальна класифікація засобів вимірювання температури, сфери застосування пірометрів та їх переваги над контактними термометрами

Як вже раніше зазначалося у даній роботі, температурний контроль має велике значення у різних сферах промислового виробництва. А сам температурний контроль здійснюють за допомогою термометрів. В залежності від методики вимірювання температури дані прилади прийнято поділяти на два класи – контактні та безконтактні термометри. Повну класифікацію засобів вимірювання температури наведено на рис. 1.1.

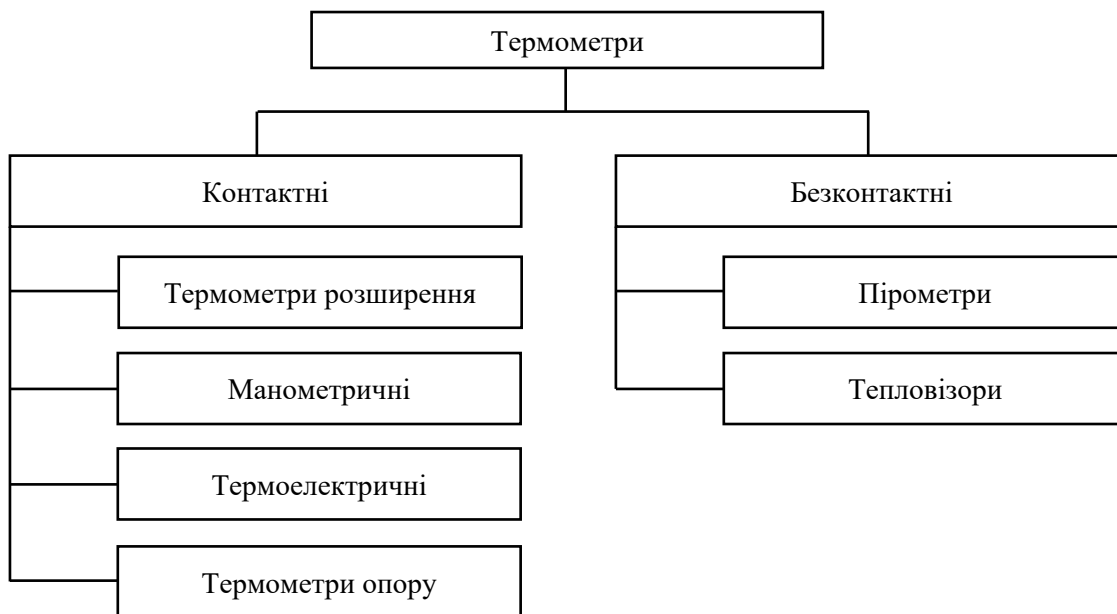


Рис. 1.1. Класифікація засобів вимірювання температури

Під контактними слід розглядати термометри, які передбачають здійснення теплового контакту між датчиком пристрою та об'єктом, температура якого потребує вимірювання. До класу контактних термометрів відносять:

– термометри розширення, принцип дії яких базується на залежності об'ємного розширення рідин та лінійних розмірів твердих тіл від температури;

– манометричні термометри. Принцип роботи таких засобів вимірювання температури полягає у зміні тиску робочої (термометричної) речовини в залежності від температури;

– термоелектричні термометри, принцип дії яких полягає у використанні залежності термоелектрорушійної сили від температури;

– термометри опору. Принцип роботи таких пристроїв заснований на залежності електричного опору чутливого елемента (провідника чи напівпровідника) від температури [1-2].

Особливістю безконтактних пристроїв виступає здатність вимірювання температури без необхідності теплового контакту між ним та об'єктом, адже для визначення температури достатньо лише теплового або оптичного випромінювання досліджуваного об'єкту.

До безконтактних пристроїв вимірювання температури слід відносити тепловізори та пірометри. Принцип роботи тепловізорів передбачає радіометричне вимірювання температури з просторовим розширенням та подальшим перетворенням температурного поля в зображення з колірним контрастом. Даний пристрій здатний вимірювати градієнти температур, температуру середовища у замкнених об'єктах, наприклад температуру рідин в різних резервуарах та трубах тощо [3].

Термометри, принцип дії яких базується на вимірюванні теплового випромінювання носять назву пірометри. Діапазон вимірювання температури варіюється від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $3000^{\circ}\text{C}$  та, навіть, вище. Пірометр дає змогу миттєво вимірювати температуру об'єкта дистанційно, як з близької, так і з досить великої відстані – від 10 см до 50 м. Щоб отримати необхідні вимірювання, пристрій необхідно направити на об'єкт. Після чого натиснувши та утримавши кнопку легко та швидко отримати результат вимірювання температури поверхні досліджуваного тіла.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Пірометри можна використовувати не тільки для вимірювання показника температури об'єктів на відстані, але й до важкодоступних або зовсім недоступних об'єктів. Пристрої допомагають з легкістю аналізувати тіла з низькою теплопровідністю, стаціонарні та рухомі елементи, а також об'єкти під напругою, у разі неможливості вимірювання температури контактними методами.

Дані пристрої можуть бути використані для визначення температури поверхонь майже будь-яких об'єктів. Пірометри допомагають своєчасно контролювати та корегувати зміни температури як в побуті, так і в промисловості. У побуті використовують для вимірювання температури тіла, води, їжі тощо. На виробництві їх використовують як теплолокатори для визначення критичних температур.

Сьогодні дані прилади використовують в наступних напрямках:

- у тепловій енергетиці пірометр використовують для оперативного та точного контролю температур на ділянках, де використання інших видів вимірювання є недоцільним;
- у сфері електроенергетики пристрій використовують для контролю температур задля забезпечення пожежної безпеки об'єктів, що експлуатуються, для аналізу стану трансформаторів, ліній електропередачі, радіаторів тощо;
- у металургійній та машинобудівній промисловості використовують при аналізі металургійних процесів, таких як пресування, кування тощо;
- прилади використовують при тепловому контролі букс залізничного рухомого складу;
- у будівництві можуть використовуватися для фіксування теплових втрат у житлових та промислових будівлях, на теплотрасах, а також з метою ефективного пошуку дефектів теплоізоляційної оболонки стін та ін. Незамінний у пошуку дефектів, поломках або невідповідності вимог до об'єкта будівництва;

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- при проведенні різних лабораторних досліджень активних речовин в агресивному середовищі;
- при контролі та моніторингу систем вентиляції, кондиціонування та опалення;
- оперативне визначення температури рухомих об'єктів;
- роботи з профілактики обладнання у різних галузях промисловості тощо.

З кожним роком пірометричному вимірювачу знаходять все більше можливостей використання в різноманітних галузях промисловості та у наукових дослідженнях, оскільки їх використання виявляється не тільки більш раціональним, на відміну від контактних термометрів, але й у деяких випадках єдиним можливим способом отримання результату показника температури. Тому розглянемо ряд переваг пірометрів над контактними термометрами:

- дають можливість вимірювати температуру об'єктів, що знаходяться на великій відстані від пірометра;
- не створюють температурне поле об'єкта, температура якого підлягає вимірюванню;
- мають необмежену верхню межу вимірювання показника температури;
- дають можливість вимірювати температуру газових потоків, що рухаються на великій швидкості;
- використовуються у випадках, коли вимірювання температури контактним термометром не раціональне або взагалі неможливе [4].

Очевидно, що вимірювання температури сучасними пірометрами має значний ряд переваг над звичайними контактними термометрами. Так пірометри дають можливість виміру температури без зупинки технологічного процесу, фіксування температури стає можливим з безпечної відстані, при цьому використання таких пристроїв дає можливість збільшити продуктивність праці працівників завдяки миттєвому виміру показника температури.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



## 1.2. Фізичні основи пірометрії

Стверджувати про температуру нагрітого тіла можна на основі вимірювання параметрів теплового випромінювання, що являє собою електромагнітні хвилі різноманітної довжини. Чим більше такої енергії, що випромінює досліджуваний об'єкт, тим вища його температура. Усі нагріті фізичні тіла випромінюють теплові промені, які при температурах в діапазоні 500-600°C стають видимі людському оку, доцільно зазначити, що при цьому яскравість світіння нагрітого тіла швидко посилюється з підвищенням температури.

Розжарені тверді тіла випускають суцільний спектр випромінювання, який складається з різних за довжиною електромагнітних хвиль. Наглядно електромагнітний спектр наведено на рисунку 1.2.

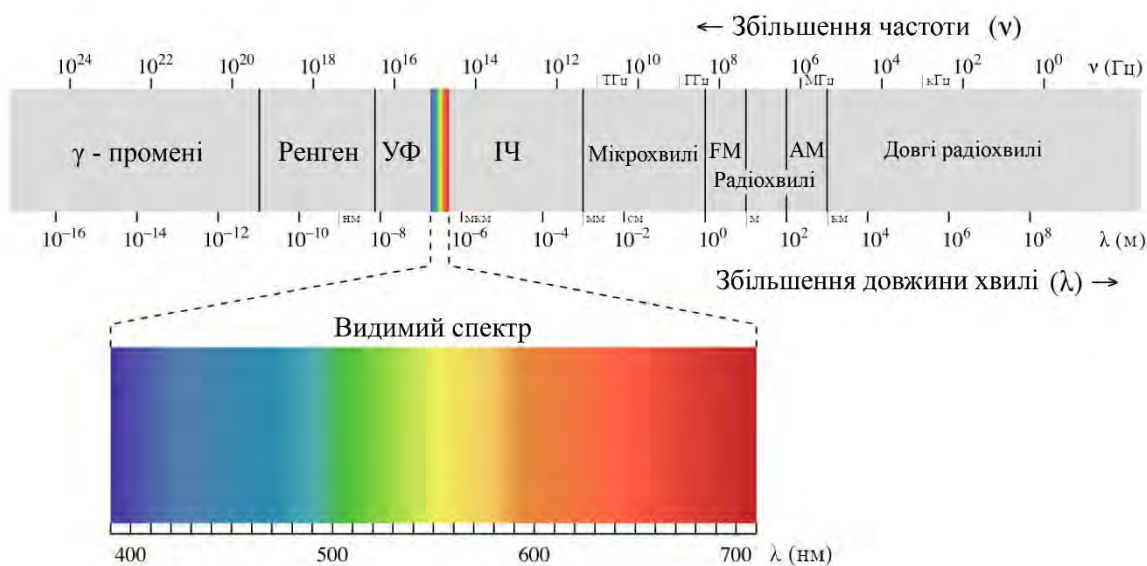


Рис. 1.2. Електромагнітний спектр випромінювання

Електромагнітне випромінювання нагрітого тіла видиме людським оком являє собою досить вузький діапазон спектра шириною лише 0,35 мкм з довжиною хвиль від 0,40 до 0,75 мкм. Невидимі промені з довжиною хвиль менше 0,40 мкм належать до ультрафіолетової ділянки спектру

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

випромінювання. Тоді як промені з довжиною хвилі, що охоплюють діапазон від 0,75 мкм до 400 мкм відносяться до інфрачервоної ділянки спектра випромінювання, після вказаного діапазону слідує ділянка радіохвиль. В сфері температурного вимірювання використовують діапазони видимі оку людині та інфрачервоного випромінювання.

Сфера дистанційного вимірювання температури тіл за їх тепловим випромінюванням у видимій частині спектру отримала назву пірометрія. Контроль температури нагрітих тіл за його тепловим випромінюванням відштовхується від закономірностей, отриманих для чорного тіла. Під абсолютним чорним тілом (АЧТ) слід розуміти тіло, яке здатне поглинути все випромінювання довільної довжини, що падає на нього за будь якої температури. Коефіцієнт поглинання становить  $\alpha(\lambda, T) = 1$ .

Наведені закони є основою безконтактного вимірювання температури пірометрами. Закон Кірхгофа є одним з головних законів теплового випромінювання і не розповсюджується на інші види випромінювання. Сутність закону полягає, у відношенні випромінюваної здатності (E) до здатності поглинання (A), яка є однаковою для усіх тіл при даній температурі (T) і не залежить від форми тіла, його хімічних складових та іншого:

$$E(\lambda, T) / A(\lambda, T) = e(\lambda, T) \quad (1.1)$$

Тобто, чим більше енергії поглинається тілом при відповідній температурі (T) на певній довжині хвилі ( $\lambda$ ), тим більше дане тіло випромінює при тих же значеннях температури та довжині хвилі. Таким чином, поверхні з високим ступенем випромінювання (чорноти) добре вбирають у себе випромінювання і самі є гарними випромінювачами. Те ж саме не можна сказати про блискучі поверхні, адже вони погано поглинають падаюче випромінювання та мають низький коефіцієнт поглинання. Реальні тіла мають коефіцієнт поглинання менше 1, що свідчить про меншу випромінювальну здатність порівняно з абсолютно чорним тілом [5].

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Тіла, що мають поглинальну здатність однакою для всіх довжин хвиль, називаються «сірими тілами». Їх спектр має такий же вигляд, як і у абсолютно чорного тіла. У загальному ж випадку поглинальна здатність тіл залежить від довжини хвилі і температури, і їх спектр може істотно відрізнятись від спектра абсолютно чорного тіла.

У 1900 р. Макс Планк на підставі гіпотези про квантове випромінювання винайшов вид функції  $f(\lambda, T)$ , що в точності відповідала експериментальним даним. Відповідно, аналітичний вираз для випромінюваної здатності АЧТ має наступний вигляд:

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]}, \quad (1.2)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана;

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі;

$T$  – абсолютна температура тіла;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка;

$\lambda$  – довжина хвилі.

Поділ енергії у спектрі випромінювання АЧТ для різних температур ілюструє, що для приведених температур максимальні значення кривих припадають на ділянку інфрачервоного випромінювання. Заштрихована частина відповідає діапазону від 0,4 до 0,75 мкм та відображає ту частину випромінюваної енергії при вказаній температурі, що відповідає видимій області спектру [6].

Рис. 1.3 демонструє залежність функції  $f(\lambda, T)$  від довжини хвилі при різноманітних температурах. Дана функція має яскраво виражений максимум, положення якого залежить від температури. Так при збільшенні показника температури значення цієї функції збільшується по всьому спектру, а її максимум зміщується у бік коротких хвиль [7-8].

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

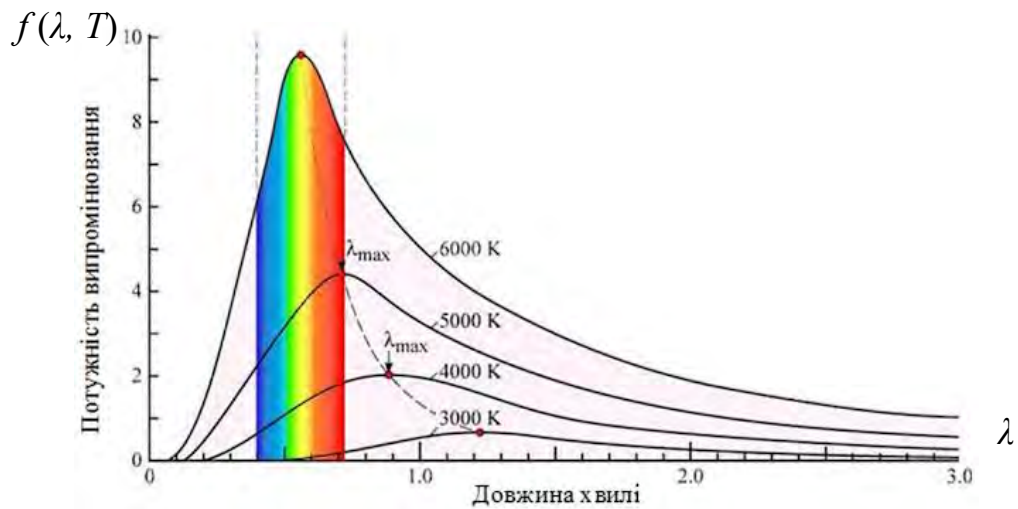


Рис. 1.3. Спектральний розподіл випромінювання при різних температурах

Науковий тандем Стефана та Больцмана, використавши термодинамічний метод, довів, що випромінювальна здатність ( $q$ ) абсолютно чорного тіла пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури ( $T$ ):

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

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2\text{)/К}^4$  – стала Стефана-Больцмана.

Зі закону Стефана-Больцмана випливає, що всі оточуючі нас об'єкти випускають випромінювання, оскільки завжди мають температуру вище абсолютного нуля, яка складає  $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ . При підвищенні абсолютної температури вдвічі, потужність випромінювання збільшиться в 16 разів.

Для переходу до сірих тіл необхідно помножити результат на коефіцієнт випромінювання об'єкта, який завжди менше 1. Важливо відзначити, що закон говорить тільки про загальну енергію, що випромінюється.

Важливі результати в термодинаміці випромінювання були отримані німецьким фізиком Вільгельмом Віном. Він вперше вивів закон, що визначає положення максимуму в розподілі енергії в спектрі випромінювання АЧТ. Закон показує, як зміщується максимум розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла при зміні температури [9-10].

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Сутність закону зміщення Віна: довжина хвилі ( $\lambda_{\text{макс}}$ ), на яку припадає максимум енергії в спектрі рівноважного випромінювання, обернено пропорційна абсолютній температурі ( $T$ ) абсолютно чорного тіла:

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

де  $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}$  – стала Віна.

Закони Планка і Віна пояснюють, чому речовина при нагріванні починає світитися в видимому діапазоні. Як видно з формул, при підвищенні температури об'єкта, все більше випромінювання випускається з короткими довжинами хвиль. Починаючи з температури близько  $500^\circ\text{C}$  це випромінювання вже можна спостерігати неозброєним оком. Разом з тим, при зниженні температури нагрітих тіл в їх спектрі все сильніше переважає довгохвильове випромінювання (наприклад, перехід білого розжарення в червоне при охолодженні металу).

В пірометрії в залежності від використання закону теплового випромінювання при вимірювання температури нагрітого тіла, виділяють три види температур, а саме: яскравісну, колірну та радіаційну.

Яскравісною температурою  $T_{\text{я}}$  тіла при довжині хвилі  $\lambda$  називають таку температуру, за якою спектральні енергетичні яскравості абсолютно чорного тіла та реального тіла при дійсній температурі  $T_{\text{д}}$  рівні між собою. Залежність дійсної температури тіла від яскравісної виражається:

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

де  $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання;

$C$  – стала Віна;

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

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Оскільки  $0 < \varepsilon_\lambda < 1$ , то яскравісна температура фізичних тіл буде завжди меншою їх дійсної [11].

Колірна температура  $T_k$  представляє собою температуру, за якої відношення енергетичних яскравостей на двох довжинах хвиль  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  дорівнює відношенню енергетичних яскравостей реального тіла з температурою  $T_\partial$  на таких же довжинах хвиль. Залежність дійсної температури тіла від колірної виражається:

$$T_\partial = \left( \frac{I}{T_k} - \frac{\ln(\varepsilon_{\lambda_1}/\varepsilon_{\lambda_2})}{C(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)} \right)^{-1}, \quad (1.6)$$

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

$C$  – стала Віна.

Слід зазначити, що для сірих тіл, у яких значення коефіцієнта випромінювання в даній ділянці спектру не змінюється з довжиною хвилі, тобто  $\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$ , колірна температура буде дорівнювати дійсній. Дана закономірність підтверджує перевагу колірного методу вимірювання температури над радіаційною та яскравісною, так як ці температури будуть завжди нижчими за дійсну.

Проте, для тіл (більшість металів), у яких коефіцієнт випромінювання зменшується зі збільшенням довжини хвилі, тобто  $\varepsilon_{\lambda_2} < \varepsilon_{\lambda_1}$ , колірна температура буде більше дійсної [12].

А для тіл (неметалічні тіла), у яких коефіцієнт випромінювання, навпаки, збільшується по мірі зростання довжини хвилі, тобто  $\varepsilon_{\lambda_2} > \varepsilon_{\lambda_1}$ , колірна температура буде менше дійсної.

Радіаційною температурою реального тіла  $T_p$  називають температуру чорного тіла, за якої його повна потужність випромінювання дорівнює повній енергії, що випромінюється реальним тілом з температурою  $T_\partial$ . Залежність дійсної температури від радіаційної виражається:

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$T_{\partial} = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}}, \quad (1.7)$$

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

Оскільки,  $0 < \varepsilon < 1$ , то радіаційна температура завжди буде меншою за дійсну температуру тіла. Зазначимо, що значення коефіцієнтів випромінювання різних речовин необхідно брати у спеціалізованих довідниках або визначати незалежним методом.

### 1.3. Різновиди пірометрів та їх особливості

Як вже було зазначено, пірометром називають безконтактний пристрій для фіксування температури об'єктів. Принцип роботи базується на реєстрації інтенсивності випромінення в інфрачервоному та видимому діапазоні тіл, що нагріваються та співвідношенні цього випромінення з його температурою, для якої воно характерне.

Відповідно, за принципом дії пірометри бувають:

- пірометри часткового випромінювання (яскравісні). Робота пристрою базується на порівнянні випромінювання поверхні зі значеннями випромінювання еталонної нитки, по якій проходить електричний струм. Величина сили струму і є значенням температури об'єкта, що досліджується. Діапазон вимірювання температури – 700...6000°C.

- пірометри спектрального відношення (колірні) діють шляхом порівняння енергії яскравості об'єкту з іншими ділянками спектру. Вони використовуються мінімум для двох ділянок, що досліджуються. Діапазон вимірювання – 300...2800°C.

- пірометри повного випромінювання (радіаційні) принцип роботи побудований на використанні радіаційного методу для обмеженого інфрачервоного діапазону хвиль випромінювання. Такі пристрої додатково

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

оснащуються лазерним прицілювачами з метою забезпечення більшої точності наведення. Діапазон фіксування температури від  $-50$  до  $3500^{\circ}\text{C}$ .

Крім цього, пірометри поділяють за способом наочності прицілювання на об'єкт:

- пристрої з оптичним наведенням використовуються для виміру на великій відстані від об'єкту, при прямому сонячному світлі та для високотемпературних вимірювань;

- пристрої з лазерним прицілом відрізняються посиленою точністю та вимірюють температуру ділянки між двома лазерними покажчиками.

За коефіцієнтом випромінювання, що використовується:

- змінний коефіцієнт випромінювання;
- постійний або фіксований коефіцієнт.

Виходячи з діапазону температурного вимірювання розрізняють:

- низькотемпературні (від  $-30^{\circ}\text{C}$ ) використовують для дослідження температури при від'ємних значеннях, але при цьому діапазон додатних температур може бути достатньо високим;

- високотемпературні (більше  $+400^{\circ}\text{C}$ ) застосовують для вимірювання високої температури нагрітих тіл, при цьому вони не здатні вимірювати об'єкти з мінусовою температурою.

За способом переміщення (транспортування):

- стаціонарні набули поширення у важкій промисловості, наприклад можуть використовуватися для постійного моніторингу виробництва ливарної продукції або пластмасових елементів. Такі пірометри монтують у важкодоступних місцях задля безпеки робітників.

- переносні використовують на різноманітних виробничих ділянках, де постає необхідність в мобільності вимірювань у поєднанні з високою точністю їх фіксування. Використовуються в різних сферах промисловості для відслідковування виробничого процесу.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Вибір необхідного пристрою вимірювання температури безконтактним способом залежить від цілі використання, сфери застосування, функціоналу, його технічних характеристик та особливостей.

#### 1.4. Принцип роботи пірометрів та їх схеми

Загалом робота пірометра полягає в ідентифікації теплових хвиль, що випромінюються від нагрітих поверхонь. Ознайомимося з принципом дії розповсюджених безконтактних вимірювачів температури окремо.

Принцип дії яскравісного пірометра базується на порівнянні у вузькій ділянці спектру яскравості, що випромінює об'єкт з яскравістю еталонної нитки на одній і тій же хвилі випромінювання.

Даний тип пірометра має вигляд телескопу, що складається з об'єктиву (1) та окуляра (4). В середині такого пристрою у фокусі лінзи об'єктиву розташована лампа розжарення (2) з ниткою у вигляді підкови (U). Джерелом для живлення лампи слугує акумулятор (7). Для зміни сили розжарювання нитки використовується реостат (8), у даному приладі його функція полягає у зміні сили струму, що прямує від акумулятора через U-нитку. Для отримання монохроматичного світла, окуляр пристрою обладнаний червоним світлофільтром (5), який пропускає промені лише встановленої довжини хвилі. З метою розширення меж вимірювання прилад містить сірий поглинаючий світлофільтр (3). Саму ж температуру визначають за допомогою вбудованого мілівольтметра (6), який має градування в градусах відповідно до розжарення нитки в лампі (рис. 1.4).

Перед початком фіксування температури об'єкту необхідно здійснити налаштування оптичної системи яскравісного вимірювача, а саме перемістити об'єктив таким чином, щоб зображення об'єкту і U-нитки перебували в одній площині. А вже за допомогою переміщення окуляра регулюється чіткість зображення цієї нитки та об'єкта, що підлягає вимірюванню [13].

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

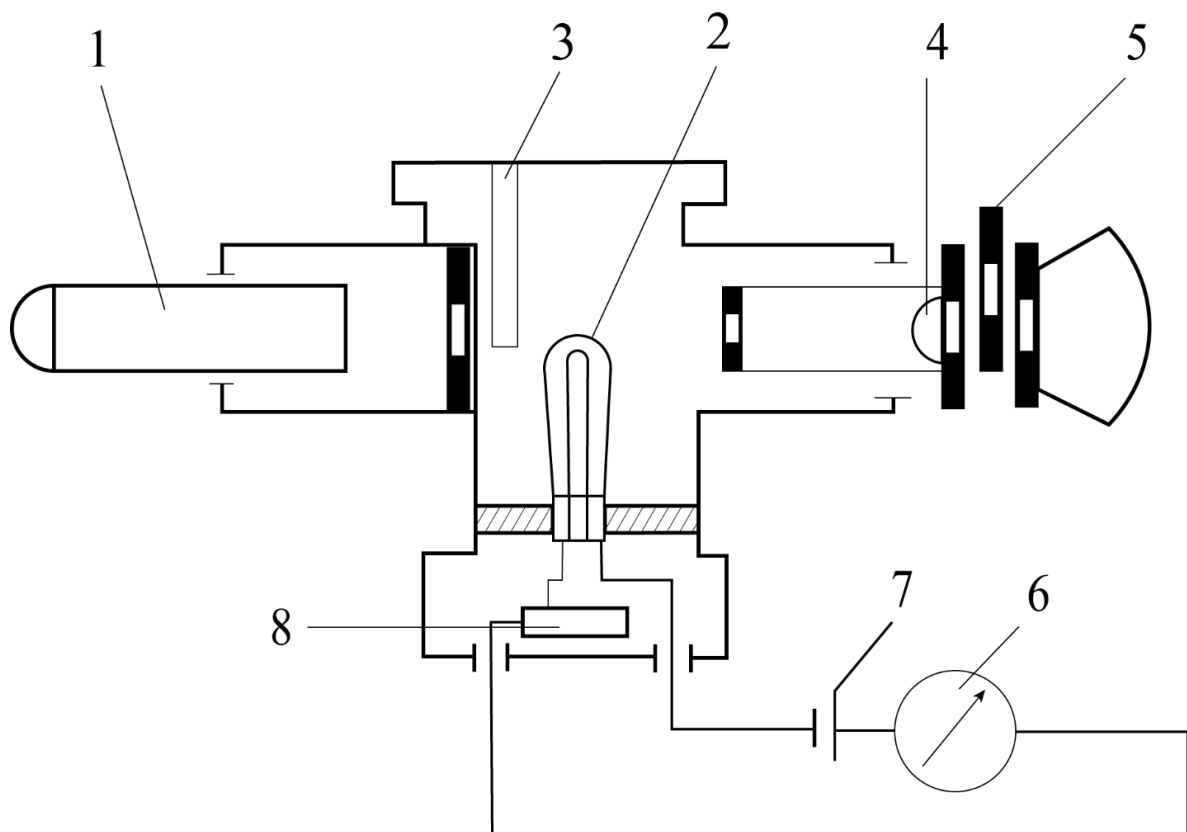


Рис. 1.4. Схема яскравісного пірометра:

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

Розжарення нитки лампи від акумулятора регулюється реостатом доки яскравість її середньої частини не буде збігатися з яскравістю об'єкта, що підлягає вимірюванню. Саме у цей час мілівольтметром за допомогою його шкали визначають температуру.

Принцип роботи колірного пірометра полягає у визначенні відношення випромінювання енергії нагрітого об'єкту у двох променях спектру теплового випромінювання (рис. 1.5). Теплові промені, що випромінює об'єкт через захисне скло (1), оптичний об'єктив (2) та обтюратор направляються на фотоелемент (4). Синхронний двигун приводить в рух обтюратор, що має округлу форму та містить два вбудованих світлофільтра – червоний (Ч) та синій (С), через які під час його руху по чергово потрапляють випромінювання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 6105.00.000 ПЗ

Арк.

21

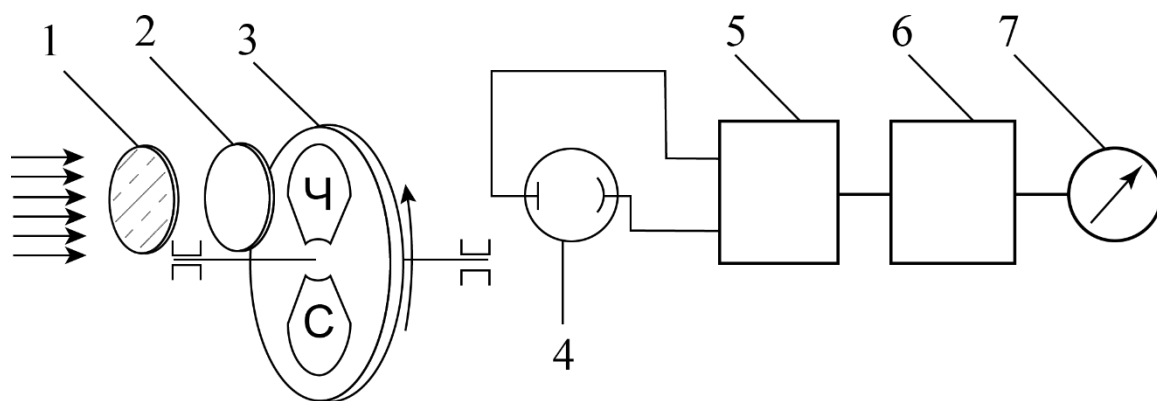


Рис. 1.5. Схема колірною пірометра:

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

У колірному пірометрі фотоелемент укладений в термостат з автоматичним регулюванням, оскільки його спектральна характеристика залежна від температури. Фотострум, напруга якого пропорційна відповідній інтенсивності випромінювання, примножується за допомогою електронного підсилювача (5) та трансформується у постійний струм спеціальним логарифмічним пристроєм (6). Сила вихідного струму пристрою (6) фіксується мілівольтметром (7) та зіставляється з його шкалою вимірювання.

На відміну від яркісних та колірних пірометрів, які працюють лише в певній ділянці спектру, радіаційні чутливі в будь-якому діапазоні хвиль, звідси походить їх інша назва – пристрої повного випромінювання (рис. 1.6).

Теплове випромінювання нагрітого об’єкта проходить крізь лінзу об’єктиву (1) та діафрагму (3) до термоелектричної батареї (4), що нагрівається. Відповідно нагрівання спаїв термоелемента батареї фіксується за допомогою мілівольтметра (6), що і дає змогу вичислити температуру об’єкту контролю. У радіаційному пірометрі діафрагма встановлена з метою зменшення числа променів, що падають на термобатарей. Для візування пристрою на об’єкт дослідження вбудовано окуляр (2). Колірне скло (5) слугує захистом очей при установці пірометра. Доцільно зазначити, що температура робочих кінців батареї не повинна бути більшою 250°C [14].

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>				

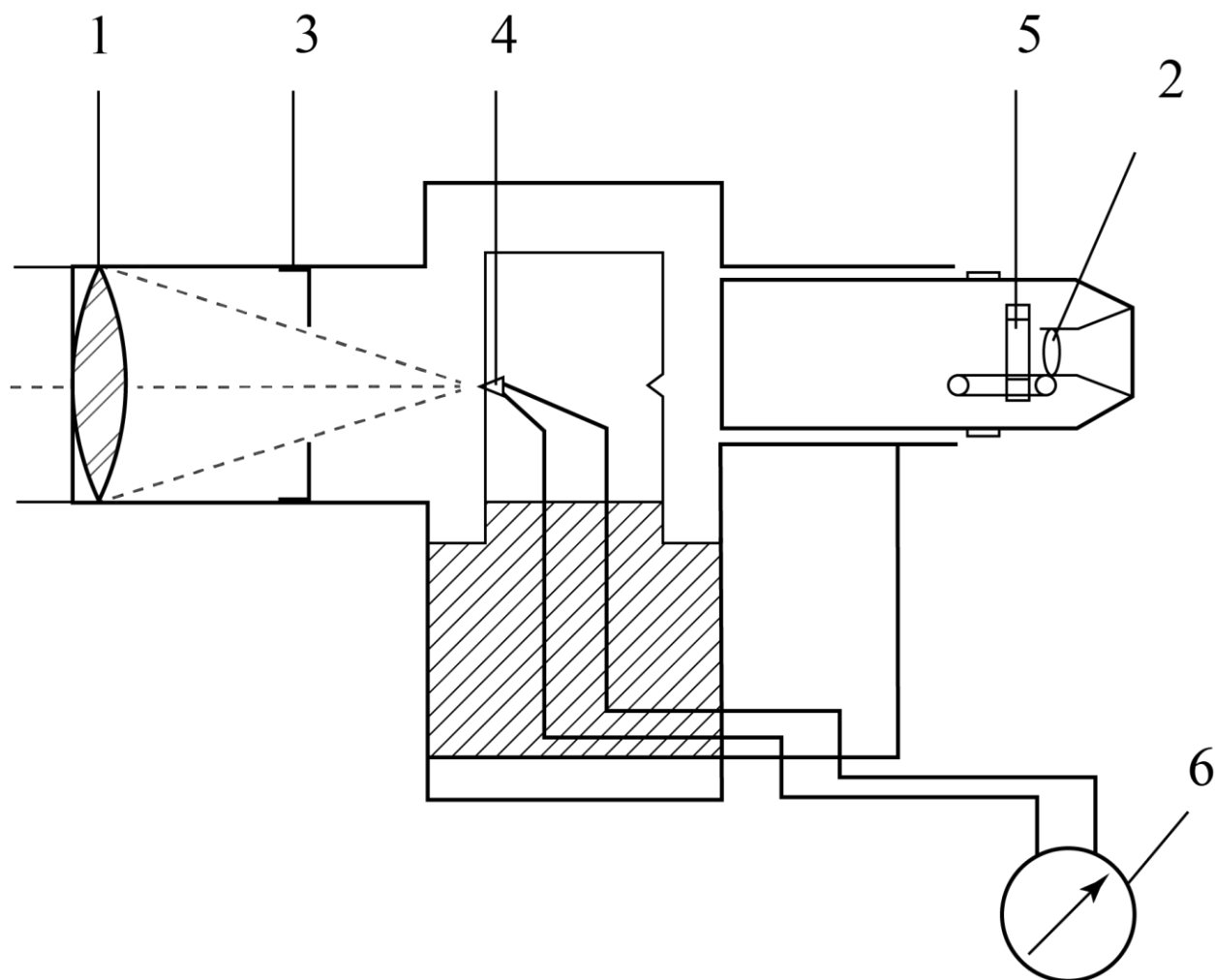


Рис. 1.6. Схема радіаційного пірометра:

1, 2 – лінзи об'єктиву та окуляра; 3 – діафрагма; 4 – термоелектробатарея;  
5 – колірне скло; 6 – мілівольтметр

Радіаційний пірометр при вимірюванні температури тіл може мати певні похибки, що унеможливають здійснення точного підрахунку кількості енергії випромінювання, що надходить в теплоприймач. Це пояснюється процесом теплообміну, що відбувається між таким приймачем та навколишнім середовищем. Але, не дивлячись на недоліки, такі пірометри мають широке використання у виробництві, вони можуть бути встановлені стаціонарно, а це забезпечить дистанційну передачу, фіксування та регулювання показника температури.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 6105.00.000 ПЗ

Арк.

23

## 1.5. Обґрунтування вибору пірометра радіаційного типу

Сьогодні сучасні радіаційні пірометри активно використовуються в різних сферах (як у виробництві, так і в побуті) та допомагають багатьом спеціалістам в їх щоденній роботі.

Популярність експлуатації такого пристрою пояснюється рядом переваг. Головною перевагою пірометрів радіаційного типу є порівняно проста конструкція, що робить його економічно вигідним (дешевим) та компактнішим порівняно з іншими видами пірометрів. Завдяки нескладній будові та невеликій кількості складових, термін дії використання набагато більший, тобто такий пристрій ламається рідше.

Невеликі розміри пристрою дозволяють користувачу носити його з собою у кишені або у спеціальній сумці та за необхідності швидко ним скористуватися. Проте, у разі потреби безперервного вимірювання температури, його можна використовувати як стаціонарний пристрій, закріпивши його на підставку або штатив. Низька собівартість виробництва, проста будова, наявність та доступність комплектуючих дозволяє виробникам випускати пристрої за прийнятною ціною та у великій кількості [15].

Ексклюзивною особливістю є можливість вимірювання від'ємних температурних показчиків до  $-50^{\circ}\text{C}$ , що обумовлено здатністю охоплювати більший спектр теплового випромінювання, тобто не тільки ділянку інфрачервоного світла, але й частину видимого спектра. Радіаційні пірометри чудово вимірюють температуру нижче  $300-400^{\circ}\text{C}$ . Хороша роздільна здатність дозволяє проводити виміри температури в важкодоступних місцях.

Звичайно, крім позитивних сторін використання, прилад має і ряд недоліків. Точність кінцевих результатів вимірювання температури таким приладом залежить від випромінювальної здатності нагрітих тіл, тобто показники температури у однаково нагрітих матової та глянцевої поверхонь об'єктів будуть видавати різні значення.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таку особливість можна пояснити тим, що окремі об'єкти через різні випромінювальні здатності за ідентичної температури та інших рівних умовах будуть видавати різну кількість теплової енергії. Неточність показника температури об'єкта можна отримати і через його фізичний стан, особливостей структури поверхні, наявності захисного покриття та природніх утворень. Мінімізувати даний недолік можна за рахунок спеціальних регуляторів, що дозволять скорегувати результати та посилити точність кінцевих показників температури. Точність результатів також залежить від дистанції між пірометром та нагрітим тілом, тобто чим далі знаходиться об'єкт дослідження від пристрою, тим більша вірогідність отримання хибних значень показника температури. Для вирішення даної проблеми пірометри обладнують системою лінз, що має високе оптичне розширення.

Дослідження конструкції та принципу роботи у попередніх підрозділах, аналіз його сильних та слабких сторін дозволило зробити вибір у бік саме пірометру радіаційного типу. Не дивлячись на властиві недоліки такого пристрою, саме наявність великої кількості переваг роблять його популярним та розповсюдженим порівняно з іншими типами пірометрів. Простота конструкції, компактність, наявність та доступність комплектуючих для побудови пристрою, великий попит серед користувачів та можливість інтеграції з планшетом або смартфоном через мобільний додаток стали вирішальними факторами для дослідження та розробки пристрою у межах бакалаврського дипломного проекту.

## **1.6. Характеристика аналогів пристрою безконтактного вимірювання температури**

Сьогодні на ринку представлено широкий асортимент безконтактних вимірювачів температури, які відрізняються між собою за технічними характеристиками, ціною, дизайном, компактністю, наявністю додаткових функцій, програмного забезпечення, мобільних додатків та ін.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Пірометр Optris Minisight (MS) з USB-інтерфейсом має широкий діапазон вимірювання температури (-32...420°C), лазер для націлювання та високу оптичну здатність (20:1), що дозволяє використовувати пристрій для виявлення неполадок і діагностики проблем механічного та електричного обладнання, дослідження систем вентиляції та кондиціонування та інших сфер, де необхідно здійснювати контроль температури. Optris MS дозволяє вимірювати маленькі об'єкти, діаметром до 13 мм.

Вбудована пам'ять і програмне забезпечення Optris Connect Report дозволяє зберігати і передавати результати дослідження показників температури на персональний комп'ютер, а також створювати звітні документи.

Пірометр має зручну та нескладну експлуатацію, потрібно лише навести його на об'єкт, натиснути на кнопку та отримати значення показника температури на вбудованому дисплеї. Загальний вигляд Optris MS наведено на рис. 1.7.



Рис.1.7. Загальний вигляд пірометра Optris Minisight

Вимірювач Optris MS виконаний у вигляді пульта, на верхній панелі має кнопку для вимірювання температури, має вбудований рідкокристалічний дисплей з підсвічуванням.

					ДП 6105.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Компактний пірометр testo 805i забезпечує безконтактне вимірювання температури поверхонь в приміщеннях, на елементах систем кондиціонування/обігріву або пошук місць утворення плісняви. Має діапазон вимірювання температури в межах  $-30...250^{\circ}\text{C}$ . А розподільна оптична здатність (10:1) дозволяє зробити вимір у важкодоступних місцях. Максимальна точність наведення на ціль дослідження забезпечується за допомогою вбудованого лазера із 8-ми точок, що позначають границі обхвату.

Даний вимірювач працює в поєднанні з мобільним додатком на базі Android та Apple IOS. Для початку роботи необхідно встановити мобільний додаток testo Smart Probes, дані про вимірювання температури отримані від приладу передаються на смартфон/планшет по Bluetooth. Після чого користувач може ознайомитися з отриманими показниками виміру, побудувати діаграми, таблиці, ділитися даними з іншими по електронній пошті у вигляді документів Excel або PDF-файлів. Додатково за допомогою додатку можна зробити фотографію об'єкту дослідження. Загальний вигляд Testo 805i наведено на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Загальний вигляд пірометра Testo 805i

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Пірометр Testo 805i має приємний дизайн та комфортну форму, вбудований зелений датчик підключення до мобільного додатку на смартфоні, зручну кнопку для початку вимірювання.

Пірометр GM320 Venetech – це бюджетний промисловий прилад, де основними сферами застосування є енергоаудит приміщення, пошук точок холоду, вимір систем опалення, використання в кулінарних цілях. Діапазон вимірювання температури становить  $-50...380^{\circ}\text{C}$ . Не дивлячись на досить низьку вартість пірометр в змозі забезпечити достатню точність вимірювання. Розподільна оптична здатність складає 12:1, що дозволяє відійти від нагрітого об'єкту на безпечну відстань (вимір об'єкту, що знаходиться під високою напругою, з бризками гарячої води або небезпечних хімічних сполук). Загальний вигляд GM320 Venetech наведено на рис. 1.9.



Рис. 1.9. Загальний вигляд пірометра GM320 Venetech

Даний пристрій виконаний у вигляді «пістолету», досить компактний, має гарний захват долоні, на робочому інтерфейсі має вбудований LCD-дисплей з підсвіченням та три кнопки для включення та вимкнення лазера, звукового сигналу та кнопкою перемикання шкал вимірювання. Оснащений «курком» для здійснення замірів температури.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

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

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика аналогів обраного пірометра

Параметр	Пірометри		
	Optris Minisight (MS)	Testo 805i	GM320 Benetech
Температурний діапазон	-32...420°C	-30...250°C	-50...380°C
Робоча температура	0...50°C	-10...50°C	0...40°C
Точність вимірювання	± 1% або 1°C/°F	± 1,5% або 1,5°C/°F	± 1,5% або 1,5°C/°F
Оптична роздільна здатність (D:S)	20:1	10:1	12:1
Коефіцієнт емісії	0,95	0,1 – 1	0,95
Час вимірювання	0,3 с	0,3 с	0,5 с
Довжина хвилі	8 – 14 мкм	8 – 14 мкм	8 – 14 мкм
Розширення	0,2 °C/°F	0,1 °C/°F	0,1 °C/°F
Дисплей	LCD	–	LCD
Живлення	1 батарея 9В, «Крона», можливість живлення від USB	4,5В (3 × 1,5В, ААА)	3В (2 × 1,5 В, ААА)
Розмір	190 × 38 × 45 мм	140 × 36 × 25 мм	144,5 × 93 × 38 мм
Вага	150 г	97 г	115 г
Наявність лазерного прицілювача	+	+	+
Спеціальні функції	Пам'ять і програмне забезпечення OptrisConnect Report дозволяє зберігати і передавати результати вимірювань на ПК, створювати звіти	Мобільний додаток testo Smart Probes	–

З даних наведених у табл. 1.1 можна сказати, що кожен з представлених пристроїв має більшість однакових технічних характеристик, їх відмінність полягає у можливості корегування коефіцієнта емісії та наявності тих чи інших спеціальних функцій. Зокрема, мова йде про мобільні додатки та програмні забезпечення, що дають можливість отримати звітні матеріали.

### 1.7. Необхідність автоматизації процесу вимірювання температури

При проведенні багатьох дослідницьких робіт постає необхідність дотримання суворого температурного режиму, який встановлюється спеціальними пристроями. Візуальне спостереження за температурою

протягом тривалого проміжку часу дуже виснажує, тим більше це важко і не завжди можна реалізувати. Автоматизація процесу вимірювання температури дозволить безперервно або за певними проміжками часу здійснювати контроль та заміри температурних показників як на виробництві, так і в побуті. Тому для реєстрації зміни температури застосовують спеціальні прилади – пірометри. Використання таких пристроїв при діагностиці температури не потребує зупинки певних технологічних процесів або габаритних установок, адже всі вимірювання проводяться досить швидко та з безпечної відстані від нагрітого об'єкта дослідження [16-17].

Здійснення температурного контролю пірометром дозволяє підвищити якість готової продукції, забезпечити бездефектне виробництво, передбачити аварійні ситуації та продовжити термін експлуатації обладнання. Безконтактні прилади виміру температури покликані забезпечувати користувачу максимальний комфорт та безпеку, а також отримувати високоточні результати вимірювання.

Доцільно зазначити, що сьогодні набирає популярності автоматизація різноманітних процесів за допомогою мобільних додатків. Поєднання безконтактного вимірювача температури та створення спеціального мобільного додатку – прекрасний спосіб полегшити працю контролюючого, забезпечити його оперативними даними за допомогою створення звітів, швидкої візуалізація зміни показників за допомогою графіків, таблиць та діаграм, фіксуванні проблемних ділянок за допомогою їх фотографування на смартфон, також можливість встановлювати графік виміру температури, задавати проміжок фіксування показників, сигналізувати про відхилення від встановленого температурного діапазону та багато іншого.

## Висновки до розділу 1

У даному розділі було досліджено теоретичні основи безконтактного вимірювання температури, що дозволило зробити наступні висновки:

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

– пірометри мають вагомі переваги над контактними термометрами, оскільки дають можливість виміряти температуру дистанційно, отримати оперативну інформацію щодо показника температури, а також мають необмежений діапазон виміру високих температур, тому такі пристрої мають широку сферу застосування та користуються широким попитом серед різних споживачів;

– розгляд основних законів пірометрії дав змогу розібратися з різними видами температур, відповідно до яких пірометри розподіляються на різні види за принципом роботи;

– аналіз видів пірометрів, розгляд їх схем та принципу дії, огляд їх сильних та слабких сторін дозволив зробити вибір у подальшу сторону розробки пірометра саме радіаційного типу, оскільки він є більш компактним, простим за будовою, а також такий пристрій легко інтегрувати з мобільним застосунком;

– сьогодні автоматизація різних процесів невпинно набирає обертів, тому поєднання пірометра з мобільним додатком для автоматизації процесу виміру температури як у житті, так і на виробництві є гарним для цього рішенням, адже це забезпечить користувачам безпечні умови та комфорт під час процесу дослідження температур, а також дасть можливість отримати високоточні результати вимірювання за лічені секунди.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

### 2.1. Моделювання оптичної системи пристрою безконтактного вимірювання температури

Перш ніж переходити до моделювання оптичної системи спочатку необхідно визначитися з матеріалом для виготовлення лінзи, який є однією з головних характеристик їх ефективності. При цьому необхідно враховувати пропускну здатність випромінювання матеріалу. Лінзи для пірометрів мають пропускати довжини хвиль певного діапазону випромінювання, а саме – видимого та інфрачервоного.

Для конструювання приладу було обрано датчик MLX90614, що працює з хвилями в діапазоні 5,5...14 мкм, тому лінзи для пірометра можуть бути виготовлені з Германію, що має пропускну здатність 2...15 мкм, Цинку-Сульфід – 1-14 мкм та полімеру (Poly IR) зі здатністю до пропускання хвиль в діапазоні 8-14 мкм.

У найбільш поширених моделях пірометрів використовують саме Poly IR, що дозволяє виробникам випускати більш прості за будовою, компактніші, дешеві, але не менш точні безконтактні вимірювачі температури. Ще однією перевагою використання полімерного матеріалу слугує, те що така лінза стає більш стійкішою до падінь.

Знаючи особливості притаманні лінзам, що використовуються при виробництві пірометрів вибір пав саме на френелеві лінзи. Такі лінзи допомагають ефективно концентрувати теплове випромінювання та передавати його на датчик. Завдяки компактним розмірам, невеликій вазі, доступній та прийнятній ціні, а також властивості фокусувати випромінювання, лінзам Френеля знайшли достатньо широке застосування, у тому числі і в пірометричних вимірювачах.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Лінза Френеля являє собою лінзу складної будови, що складається з прилеглих один до одного тонких концентричних кілець невеликої товщини. Загальний вигляд таких лінз наведено на рис. 2.1.

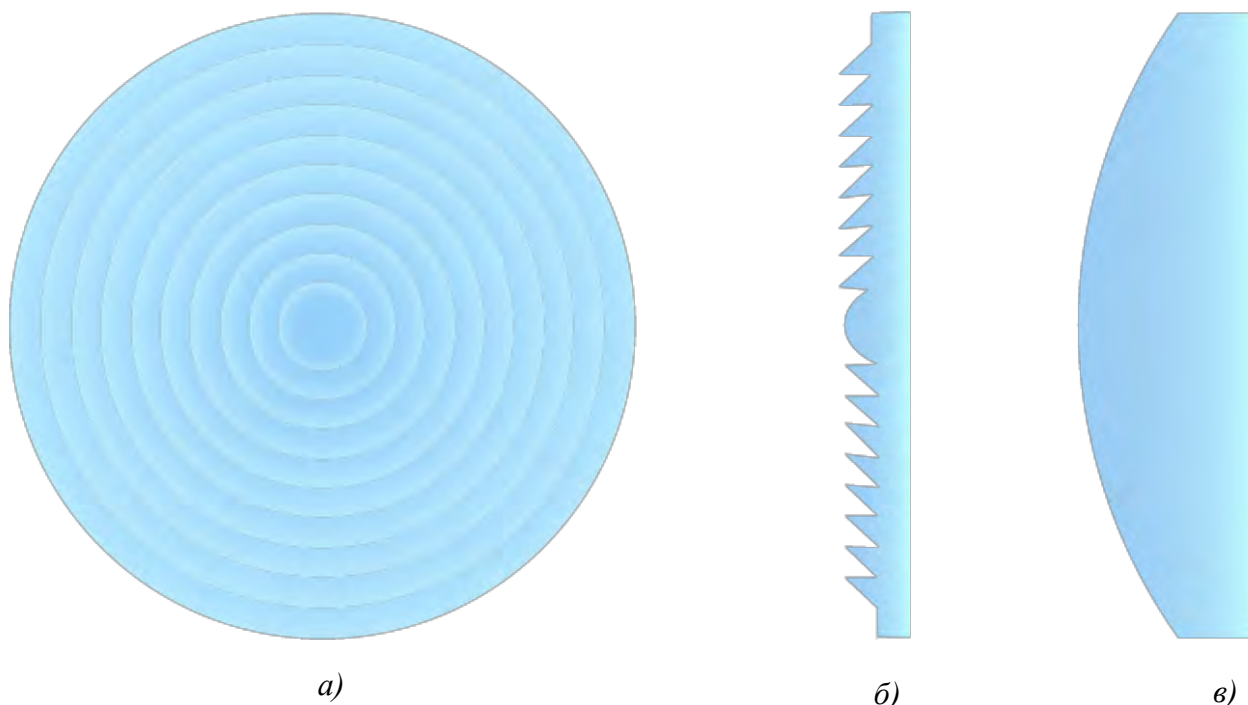


Рис. 2.1. Загальний вигляд лінзи Френеля (а) та поперечний розріз френелевої (б) та традиційної (в) лінз

Як видно з рис. 2.1 лінза Френеля має ступінчасту форму, чим і відрізняється від гладкої сферичної будови звичайної лінзи. Кожну сходинку можна розглядати як окрему невелику лінзу. Така будова френелевської лінзи допомагає фокусувати світло так само як і звичайна, але при цьому вона має менші габарити.

Оптична система лінз обраного для проєктування пірометра складається з однієї лінзи Френеля. Змоделюємо оптичну систему для приладу за допомогою програми Zemax.

Для відтворення задуманої системи лінз було задано наступні конструктивні параметри (рис. 2.2).

	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.000	0.000
STO	Standard	Infinity	27.000		7.500 U	0.000
2	Non-Seque..	Infinity	-		8.000 U	0.000
3	Standard	Infinity	17.000 V		8.000 U	0.000
4*	Standard	Infinity	0.500		5.000 U	0.000
IMA	Standard	Infinity	-		2.000 U	0.000

Object Type	Material	Radial Height	X Half-Width	+Depth/-Freq	Pitch (deg)	Thickness	
1	Fresnel 1	POLYIR2	8.000	0.000	0.090	0.000	1.000

Рис. 2.2. Конструктивні параметри оптичної системи пірометра в Zemax

Діаметр лінзи становить 16 мм, товщина – 1 мм. Лінза фокусує падаюче на неї теплове випромінювання від об’єкту на приймач, який розташований на відстані 17,5 мм від самої лінзи. Діаметр приймача випромінювання 4 мм. Модель оптичної системи, яку було отримано у ході розрахунків має наступний вигляд (рис. 2.3).

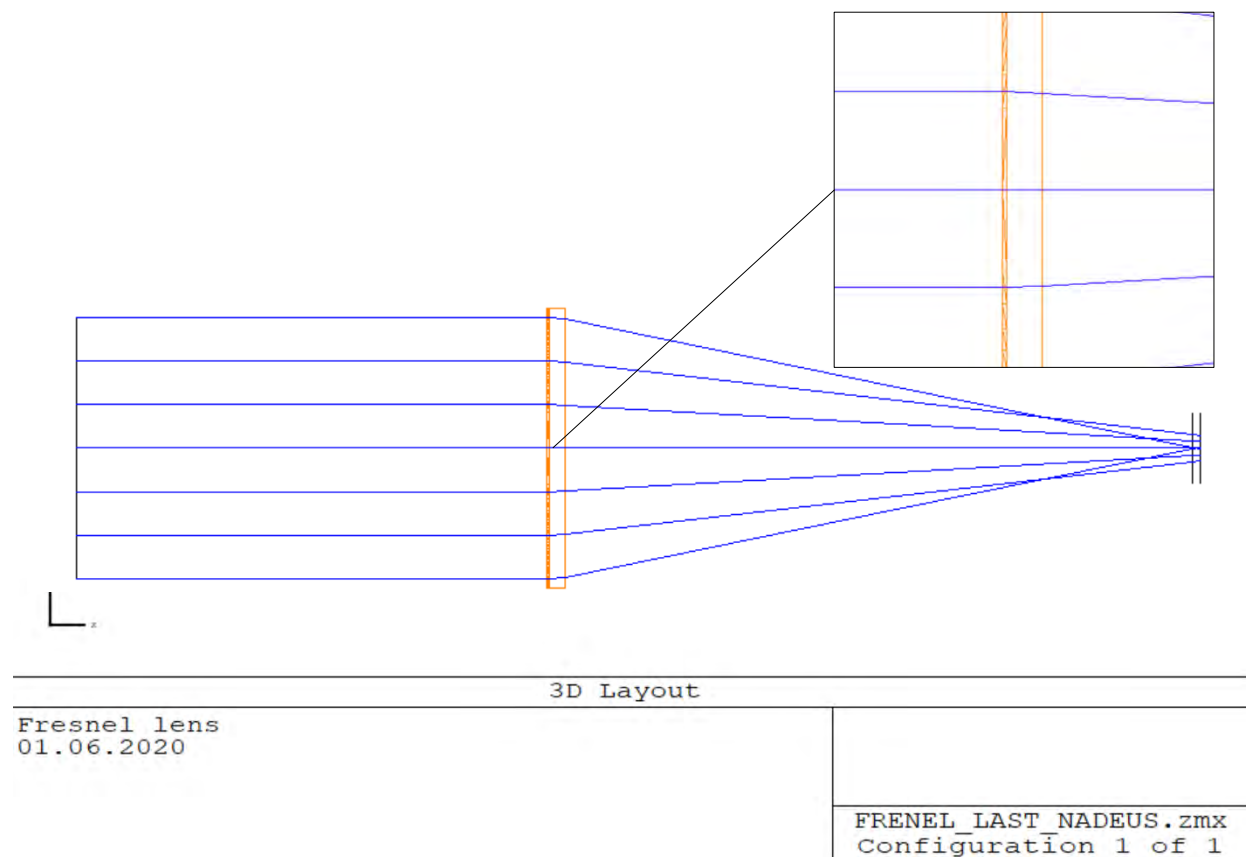


Рис. 2.3. Модель оптичної системи пірометра

Крім зображення моделі оптичної системи у 3D, функціонал програми Zemax дав змогу отримати загальний вигляд тіньової моделі (рис.2.4).

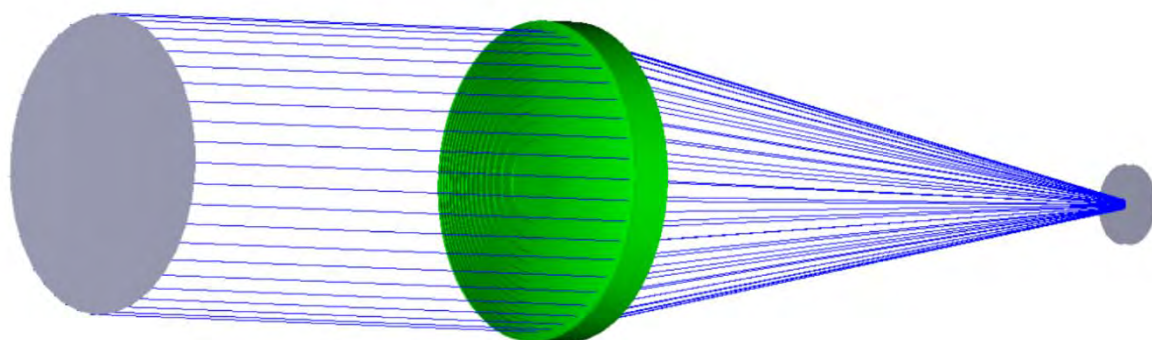


Рис. 2.4. Тіньова модель оптичної системи пірометра

Для системи лінз пристрою кут поля зору складає  $2\omega = 1,2^\circ$ , але якщо ми задаємо в Zemax значення цього кута більше  $0,6^\circ$ , то пучок променів випромінювання буде урізатися діафрагмою та не буде доходити до приймача. Розрахуємо оптичну роздільну здатність об'єктива (рис. 2.5).

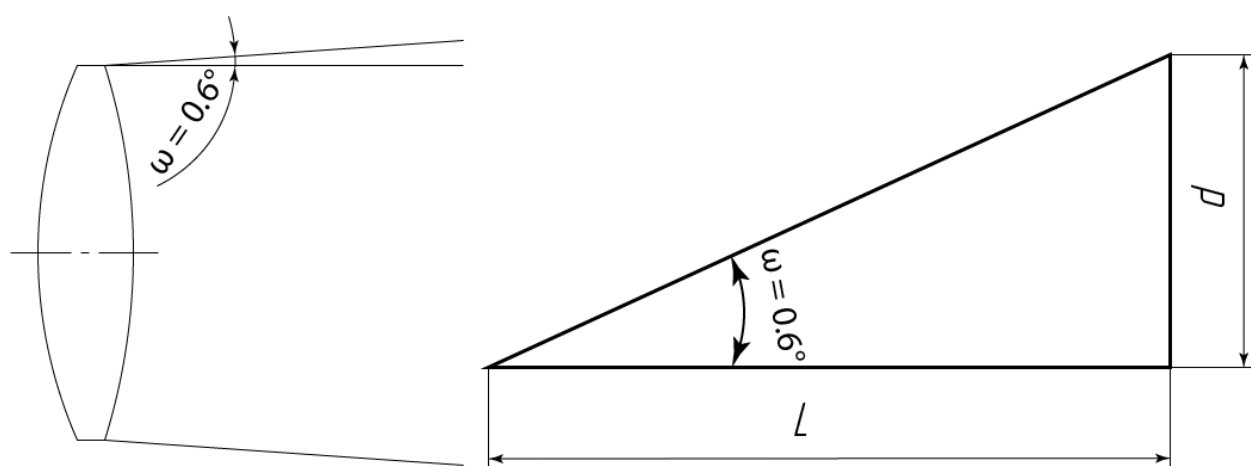


Рис. 2.5. Оптична роздільна здатність об'єктива пірометра: L – відстань до об'єкта, d – половина випромінюючої площадки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

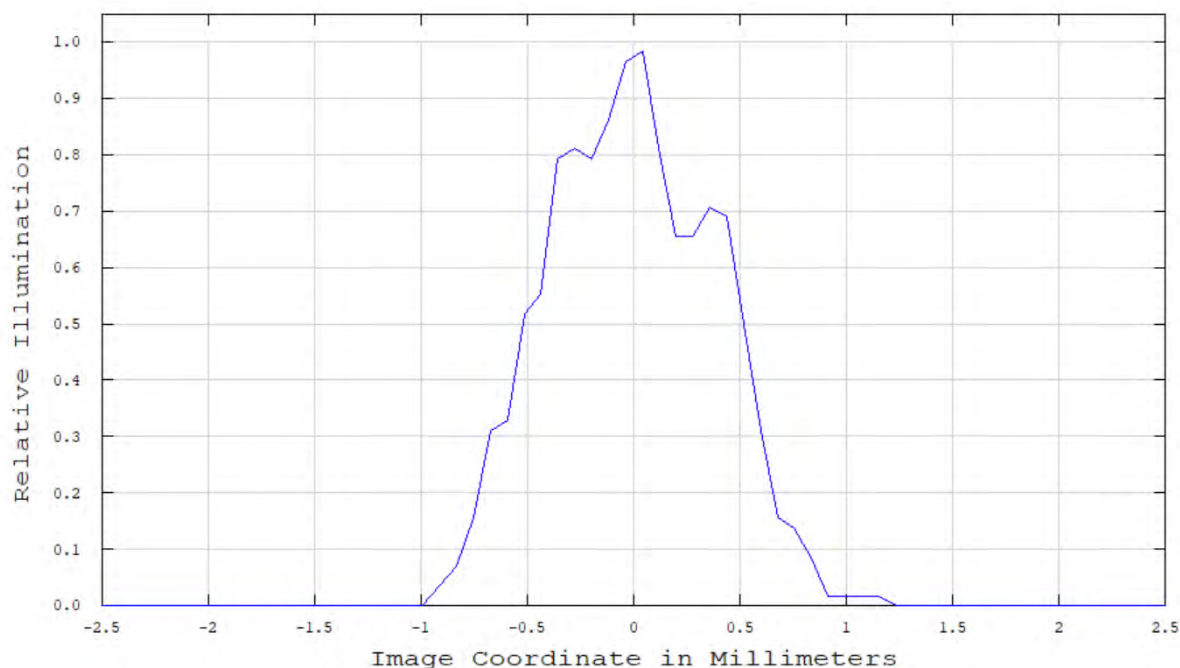


Співвідношення кутів і сторін дозволяє отримати наступні значення:

$$d = L \times \operatorname{tg}(0,6^\circ) \rightarrow \operatorname{tg}(0,6^\circ) \approx 0,01 \rightarrow d = 0,01 \times L \rightarrow 2d = 0,02 \times L = S \rightarrow$$
$$\rightarrow \frac{L}{S} = \frac{1}{0,02} = 50 : 1$$

Тобто, оптична роздільна здатність об'єктива вимірювача температури складе 50 : 1, тобто пірометр на відстані 10 м зможе виміряти температуру об'єкта розміром 20 см.

Проведемо оцінку залежності рівня концентрації теплового випромінювання від розміру ділянки приймача, на яку потрапляє випромінювання в площині зображення (рис. 2.6).



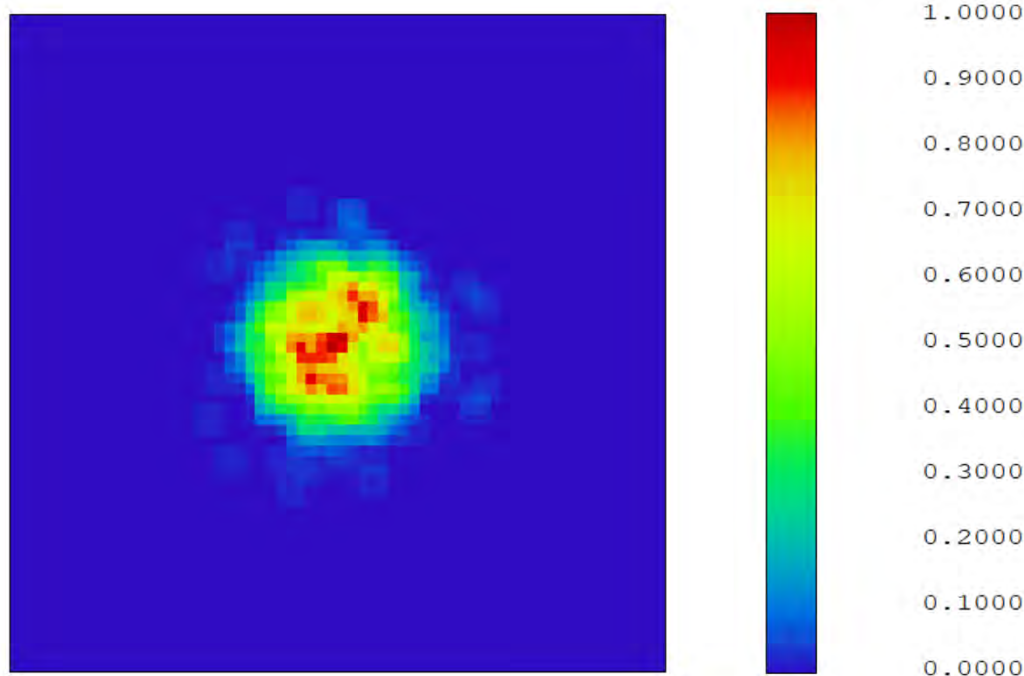
Relative Illumination, X-Scan

Fresnel lens  
01.06.2020  
Wavelength: Polychromatic  
Efficiency: 0.9712

FRENEL\_LAST\_NADEUS.zmx  
Configuration 1 of 1

Рис. 2.6. Графік фокусування теплового випромінювання на приймач

Функція «Illumination XY Scan» дала змогу побудувати двомірний графік залежності. Побудуємо площину з колірним представленням інтенсивності випромінювання за допомогою функції «Illumination 2D Surface» (рис. 2.7).



Relative Illumination, 2D Surface	
Fresnel lens 01.06.2020 8.0000 to 14.0000 $\mu\text{m}$ at 0.0000, 0.0000 (deg). Side is 5.0000 Millimeters, 64 by 64 pixels. Efficiency: 0.9712	FRENEL_LAST_NADEUS.zmx Configuration 1 of 1

Рис. 2.7. Діаграма інтенсивності випромінювання

З графіку фокусування теплового випромінювання на приймач та діаграми інтенсивності випромінювання випливає, що рівень ефективності обраної оптичної системи складає 97,12%.

Також на основі розрахунків були отримані наступні параметри оптичної системи (рис. 2.8). Розмір апертурної діафрагми складає 15 мм. Робоча температура 20°C. Ефективна фокусна відстань системи становить 0,063 мм. Задня фокусна відстань 7,74 мм.

```

System/Prescription Data
File : C:\Users\Artur\Desktop\FRENEL_LAST_NADEUS.zmx
Title: Fresnel lens
Date : 02.06.2020

LENS NOTES:
Notes...

GENERAL LENS DATA:
Surfaces      :          5
Stop          :          1
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 15
Glass Catalogs : SCHOTT INFRARED POLYIR
Ray Aiming    : Off
Apodization   : Uniform, factor = 0.00000E+000
Temperature (C) : 2.00000E+001
Pressure (ATM) : 1.00000E+000
Adjust Index Data To Environment : Off
Effective Focal Length : 0.06397274 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 0.06397274 (in image space)
Back Focal Length : 7.744182
Total Track   : 44.5
Image Space F/# : 0.00426485
Paraxial Working F/# : 2.469248
Working F/#   : 2.567578
Image Space NA : 0
Object Space NA : 7.5e-010
Stop Radius   : 7.5
Paraxial Image Height : 0.1966357
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 15
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 0
Exit Pupil Position : 1e+010
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 0.6
Primary Wavelength : 8 um
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : -1.239273

Fields        : 1
Field Type    : Angle in degrees
#            X-Value  Y-Value  Weight
1            0.000000  0.600000  1.000000

Vignetting Factors
#            VDX      VDY      VCX      VCY      VAN
1            0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000

Wavelengths   : 4
Units: um
#            Value  Weight
1            8.000000  1.000000
2            10.000000  1.000000
3            12.000000  1.000000
4            14.000000  1.000000

```

Рис. 2.8. Загальні параметри змодельованої оптичної системи

Загальний розмір системи 44,5 мм. Параксіальний розмір зображення – 0,19 мм. Розрахунок проведений для довжин хвиль від 8-14 мкм. Отримані розрахунки свідчать, про достатню ефективність системи для подальшої побудови точного приладу безконтактного вимірювання температури. Загальний вигляд лінзи у оптичній системі пірометра наведено на рис. 2.9.

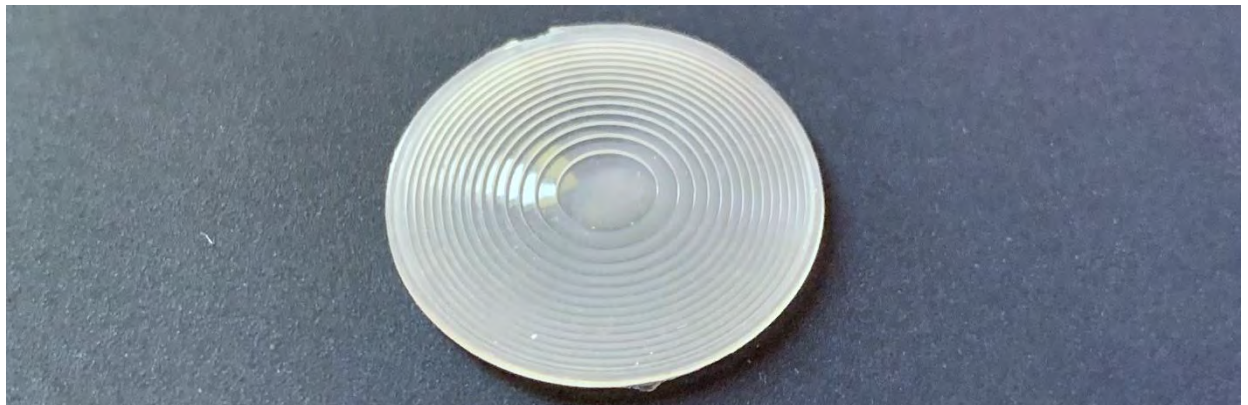


Рис. 2.9. Реальний вигляд спроектованої лінзи Френеля

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>				

На основі проведених розрахунків та отриманих кінцевих результатів, можна сказати, що змодельована оптична система є достатньо ефективною. Завдяки такій системі нам вдасться побудувати компактний та достатньо точний прилад.

## 2.2. Функціональна схема пристрою безконтактного вимірювання температури

Процеси, що відбуваються в окремих функціональних колах приладу зображують на функціональних схемах. Функціональна схема пристрою безконтактного вимірювання температури наведена на рис. 2.10.

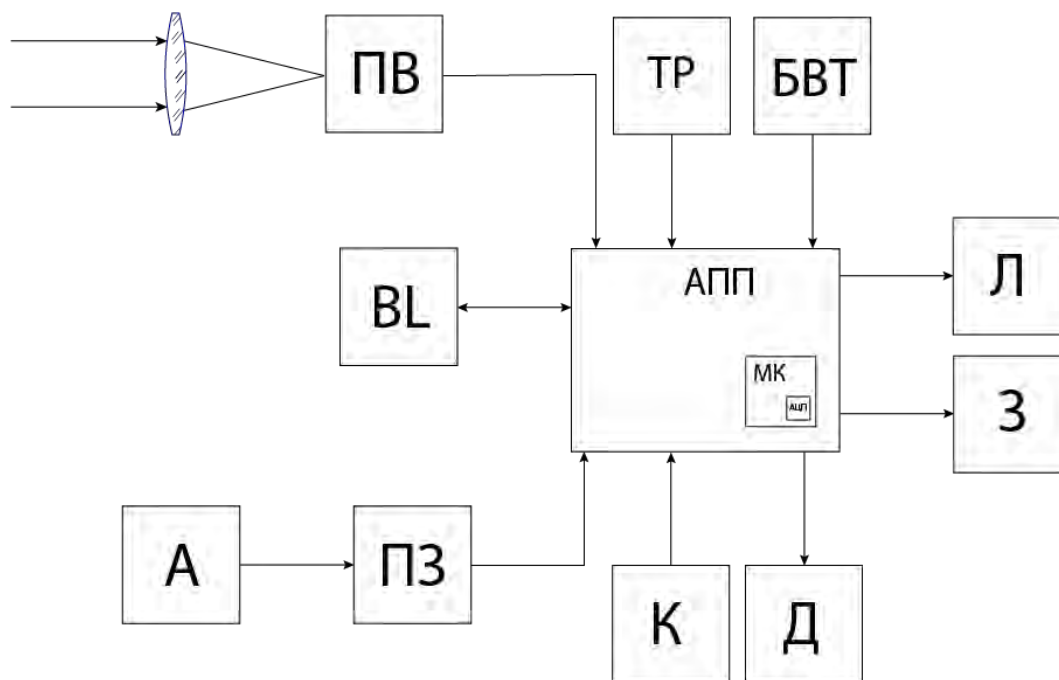


Рис. 2.10. Функціональна схема пірометра

Теплові промені від нагрітого тіла потрапляють та фокусуються через лінзу Френеля на приймач випромінювання (ПВ). Цифровий сигнал з приймача для подальшої обробки прямує до апаратно-програмної платформи (далі – АПП), в яку вже вбудовано мікроконтролер АТmega328р (МК) з 10-ти бітним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

До АПП також приєднано терморезистор, що буде виконувати функцію вимірювання температури контактним методом. Для надання пристрою більшого функціоналу, було прийнято рішення використовувати модуль датчика (БВТ) виміру тиску, вологості та температури навколишнього середовища, що також приєднаний до АПП. Для обміну даними з іншими пристроями (смартфон, планшетний комп'ютер) використовується Bluetooth-модуль (BL). Для більш кращого визначення місця виміру користувачем пристрою вбудовано лазерний вказівник (Л) [18]. Модуль звукової індикації (З) призначений для звукового сповіщення користувача після отримання результатів вимірювання нагрітого об'єкту. Отримані результати вимірювання необхідних показників виводяться на вбудований OLED-дисплей (Д) діагоналю 0,96 дюйма. Для управління приладом вбудовано кнопку систему, що складається як з механічних, так і сенсорних кнопок (К). В якості джерела живлення використовується літій-іонний акумулятор формату 18650 (А) з платою зарядки (ПЗ) та підсиленням вихідного струму до 5 В.

На основі функціональної схеми було розроблено макет пристрою (рис. 2.11).

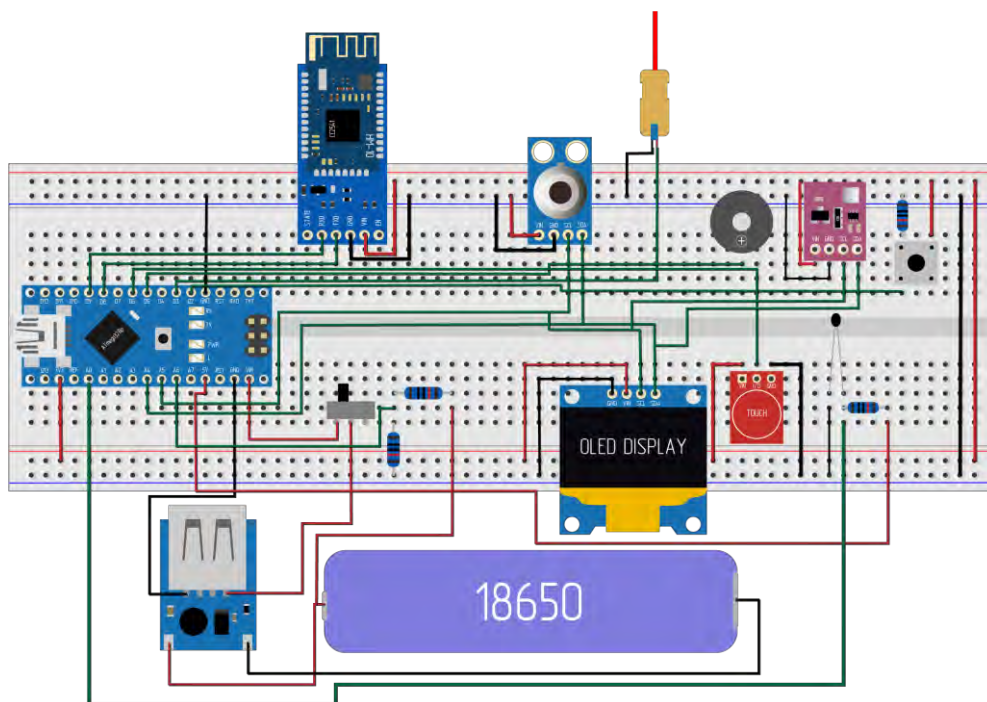


Рис. 2.11. Макет проєктованого пристрою

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Детальний розбір окремих елементів конструкції розглянуто у межах наступного розділу.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі було проведено проєктування пристрою безконтактного вимірювання температури. Звідси, випливають наступні підсумки:

– фокусування випромінювання нагрітих тіл на датчик буде реалізовуватись через оптичну систему, яка представлена лінзою Френеля. А використання програми *Zemax* дозволило зробити необхідні для подальшого конструювання пірометра розрахунки, покращити ефективність даної системи лінз та графічно її змодельовати;

– було здійснено побудову функціональної схеми приладу дистанційного вимірювання температури об'єкту, що дало змогу розробити макет майбутнього пристрою та підібрати для нього оптимальні комплектуючі.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



## РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИБОРУ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

### 3.1. Вибір апаратно-програмної платформи

В якості апаратно-програмної платформи прийнято рішення використовувати Arduino Nano v 3.0, що являє собою мініатюрну плату оснащену мікроконтролером ATmega328P з 10-тибітним аналого-цифровим перетворювачем. Загальний вигляд Arduino Nano v 3.0 представлено на рис. 3.1.

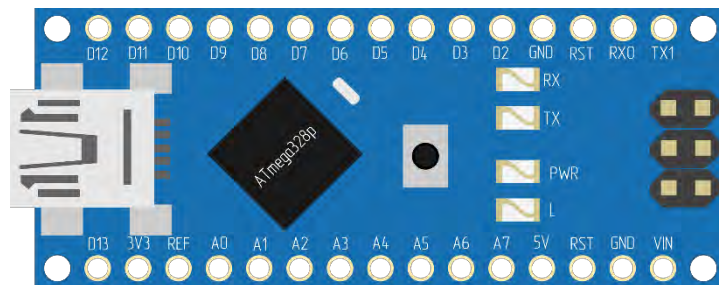


Рис. 3.1. Загальний вигляд Arduino Nano v 3.0

Як вже було зазначено, «мозком» даного конструктора є ATmega328P – 8-ми розрядний CMOS мікроконтролер сімейства AVR заснований на удосконаленій RISC-архітектурі, що дозволяє виконувати більшість команд за один такт. Основними характеристиками даного пристрою є вбудована Flash-пам'ять на 32 КБ, SRAM-пам'ять – 2 КБ та EEPROM – 1 КБ. Крім цього, МК містить 8-канальний 10-ти 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), отже, максимальна частота зчитування даних 10000 разів на секунду (10 кГц). Мікроконтролер має високу продуктивність: 0-4 МГц при 1,8-5,5 В, 0-10 МГц при 2,7-5,5 В та 0-20 МГц при 4,5-5,5 В.

Зовнішній вигляд ATmega328P наведено на рис. 3.2.

					ДП 6105.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рис. 3.2. Мікроконтролер АТМega328P

Зазначений МК має 32 виходи і тип корпусу «TQFP 32A». За допомогою цифрових виходів RX та TX мікроконтролер здійснює зв'язок по послідовному інтерфейсу UART. Аналогічно, АТМega328P підтримує послідовні інтерфейси I2C та SPI. Мікросхема СН340G забезпечує зв'язок приймача з USB-портом персонального комп'ютера.

Наведемо основні технічні характеристики Arduino Nano v 3.0 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

### Технічні характеристики Arduino Nano v 3.0

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 2КБ використовується загрузчиком
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри	45 × 18 мм
Вага	6 г

Технічні характеристики Arduino Nano v 3.0 повністю підходять для використання саме цієї плати у проєктованому пірометрі.

Переваги використання даної АПП при конструюванні пірометра наступні:



- немає необхідності додатково паяти, оскільки елементи з'єднуються за допомогою спеціальних макетних дошок, перемичок та проводів;
- можливість створення компактних пристроїв;
- вбудований програматор, що дозволяє налаштовувати систему через персональний комп'ютер (за допомогою USB-кабелю);
- приємна цінова політика;
- простота та доступність, що дозволяє значно економити час;
- кроссплатформеність – програмне забезпечення (ПО) працює в операційних системах macOS, Windows та Linux, адже більшість подібних пристроїв обмежені OSWindows;
- гарні технологічні характеристики.

Arduino визнана найпопулярнішою апаратно-програмною платформою завдяки її багатофункціональності та зручності.

### 3.2. Вибір дисплею

Для візуалізації отриманих вимірювань було обрано OLED-дисплей 0,96" I2C (128×64). На відміну від рідкокристалічних дисплеїв, які використовуються у більшості пірометрів представлених на ринку, дисплеї виготовлені по технології OLED не потребують підсвічення, тому пристроєм з таким екраном буде зручно користуватися навіть у темноті (рис. 3.3).

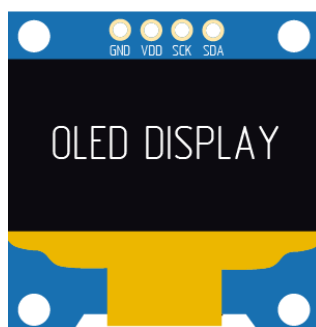


Рис. 3.3. OLED-дисплей

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Завдяки такій особливості, чорний колір дисплею – дійсно чорний, оскільки світлодіод, що вимкнений не горить у темряві, а білий колір залишається білим, оскільки не проходить через шар рідких кристалів або тонкоплівкових транзисторів. Кут огляду більше 160° досягається завдяки використанню органічних світлодіодів, це також дозволило знизити енергоспоживання. Такий дисплей наділений високою контрастністю, що підвищує чіткість тексту та зображень. Ще однією перевагою OLED-дисплея є його компактні габарити, що дозволять використовувати його у компактних приборах [19].

Технічні особливості даного дисплею наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

### Технічні особливості OLED-дисплея

Характеристики	Параметри
Тип дисплея	графічний, на основі органічних світлодіодів
Роздільна здатність	128×64 пікселів
Інтерфейс	I2C, підтримується Arduino, WeMos, STM32, MSP430 і безліччю інших мікроконтролерів, і налагоджувальних плат
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 <sup>2</sup>
Колір пікселів	білий
Коефіцієнт контрастності	10000: 1
Час відгуку	< 10 мкс
Робоча температура	-40...85°C
Габарити	30×30 мм
Вага	4 г

Якість інформації, що відображається на дисплеї, низька вартість та ідеальні кути огляду характеризують його неабияку популярність серед інших дисплеїв, що представлені на ринку.

Доцільно зазначити, що пірометрів з OLED-дисплеями дуже мало, тому використання такого елемента забезпечить додаткову конкуренту перевагу серед інших моделей на ринку.

### 3.3. Вибір модуля безконтактного вимірювання температури

Для безконтактного вимірювання температури у пірометр буде встановлено модуль MLX90614. Даний датчик має широку сферу застосування – вимірювання температури рухомих або важкодоступних об'єктів, що є важливим для функціоналу нашого приладу (рис. 3.4).

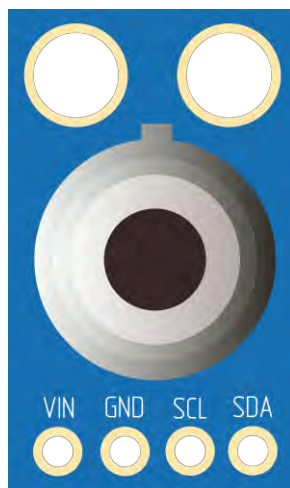


Рис. 3.4. Модуль безконтактного термометра MLX90614

Показники виміру температур можна зчитувати двома способами. Перший передбачає сканування даних через SMBus-інтерфейс, що є аналогом I2C, а другий – через ШІМ-вихід з частотою 10 Гц.

Технічні особливості датчика безконтактного вимірювання температури наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Технічні особливості пірометричного датчика MLX90614

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

					ДП 6105.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Вагомими перевагами даного модулю, що і вплинули на його вибір стали малі розміри, невелика вартість, доступність, низьке енергоспоживання та хороші технічні особливості. Датчик має широкі перспективи у програмуванні, калібруванні та конфігурації. Крім цього, він має зручні отвори для кріплення, вбудований стабілізатор та резистори на цифровій шині. Висока роздільна здатність та точність вимірювання забезпечується вбудованому підсилювачу, 17-бітному АЦП та потужному блоку DSP. З метою захисту датчика від сонячних променів вбудовано оптичний фільтр, який відсікає видимий та близький інфрачервоний потік випромінювання. Діапазон пропускання довжини хвилі даного фільтра складає 5,5...14 мкм. Доцільно зазначити, що точність отриманих даних буде залежати від теплової рівноваги та від ізотермічних умов, в яких перебуває датчик.

### 3.4. Вибір модуля вимірювання температури навколишнього середовища, вологості та тиску

У якості наділення приладу додатковим функціоналом було прийнято вбудувати метеодатчик BME280, що дасть змогу отримати вимір таких показників як температура навколишнього середовища, атмосферний тиск та рівень вологості (рис. 3.5).

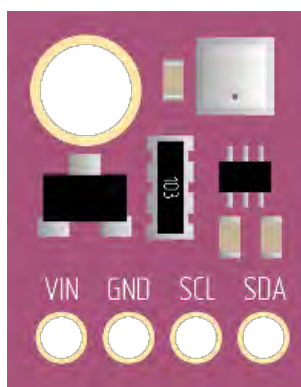


Рис. 3.5. Модуль BME280

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Технічні особливості датчика вимірювання температури навколишнього середовища, вологості та тиску наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Технічні особливості метеодатчика ВМЕ280

Характеристики	Параметри
Інтерфейс	I2C
Межі вимірювання температури	-40...85°C
Точність вимірювання температури	±0.5°C
Межі вимірювання вологості	0...100%
Точність вимірювання вологості	3%
Межі вимірювання тиску	300...1100 гПа
Точність вимірювання тиску	1 гПа
Напруга живлення	1,8...5 В
Струм в режимі вимірювання тиску	714 мкА
Струм в режимі вимірювання вологості	340 мкА
Струм в режимі вимірювання температури	350 мкА
Розміри	15×12×3 мм

Даному датчику властиві висока точність виміру показників, швидке реагування інтерфейсу та низьке енергоспоживання. Має заводське калібрування та не потребує додаткових компонентів для підключення.

### 3.5. Вибір модуля для бездротової передачі даних

У межах даного проєкту заплановано створити застосунок, тому для ефективної інтеграції приладу з додатком необхідно використовувати модуль бездротової передачі даних, а саме НМ-10 – це модуль Bluetooth 4.0, заснований на архітектурі датчиків Texas Instruments CC2541 з бездротовою технологією Bluetooth з низьким енергоспоживанням (BLE) і схемою «система на кристалі» (SoC) (рис. 3.6).

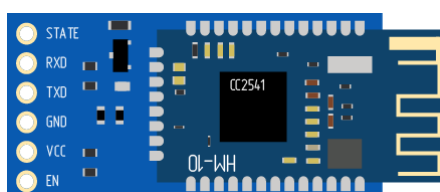


Рис. 3.6. Bluetooth-модуль НМ-10

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 6105.00.000 ПЗ	

Технічні характеристики Bluetooth-модуля наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

### Технічні особливості Bluetooth-модуля HM-10

Характеристики	Параметри
Частота	2,4 ГГц
Напруга живлення	3,6...5 В
Профілі, що підтримуються	GAP, GATT, L2CAP, SMP
Споживана сила струму в робочому режимі	20 мкА
Споживання в режимі очікування	90...400 мкА
Покриття	до 60 м
Швидкість передачі	1 Мбіт/с
Чутливість	-94 дБм
Потужність	0 дБм
Робочий температурний діапазон	-40...85°C
Розміри	43×15 мм
Вага	4 г

Крім цього, пристрій має інтерфейс I2C, що забезпечує можливість підключати різноманітні типи датчиків. Суттєвою перевагою даного модуля є те, що він сумісний не тільки з пристроями на базі операційної системи Android, але й чудово працює з пристроями на базі iOS.

### 3.6. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, лазерного вказівника, сенсорного датчика керування та контактного датчика температури

Пристрій на базі мікросхеми HT4928S у своїй будові поєднує перетворювач, що підвищує напругу для виходу 5 В, що чудово підходить для живлення АПП Arduino, а також модуль PowerBank – для зарядки Li-Ion / Li-Pol акумуляторів (рис. 3.7).

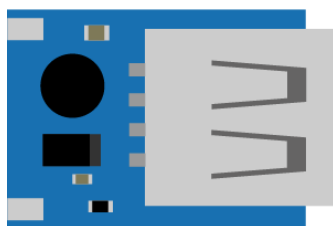


Рис. 3.7. Плата зарядки з підсиленням вихідної напруги

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Технічні характеристики плати зарядки наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Технічні особливості плати зарядки NT4928S

Характеристики	Параметри
Вхідна напруга	5 В
Максимальний вхідний струм	1 А
Струм споживання в режимі очікування:	8 мкА
Розміри	22×18×10 мм
ККД	85%
Індикація заряду	під час зарядки червоний світлодіод блимає, а при повній зарядці – світиться
Вага	4 г

Доцільно зазначити, що даний пристрій можна використовувати як PowerBank для смартфонів або планшетів. Рішенням використання акумулятора як джерела живлення замість звичайних батарейок слугувало два важливих фактори:

- екологічна складова – звичайні батарейки після їх використання необхідно утилізувати, тоді як акумуляторні батареї можна заряджати;
- звичайні батарейки необхідно регулярно замінювати на нові, тоді як акумулятори купуються рідше в залежності від строку служби, що значно зберігає бюджет.

Для полегшення прицілювання на об'єкт дослідження у прилад буде вбудовано лазерний вказівник Laser Module 5mW 650 nm Red (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Лазерний вказівник

Такий модуль здатен продукувати випромінювання в 650 нм діапазоні з максимальною постійною напругою 5мВт. Лазер може використовуватися в різних пристроях на базі Arduino та інших мікроконтролерів. Робоча температура складає -30...65°C. Розміри: 6,5×18 мм.

Для зручного керування пристроєм вирішено використовувати модуль цифрового сенсорного датчика TTP223 Touch key. Сенсорний датчик реагує на простий дотик, а також може працювати через скло або пластик товщиною до 3 мм (рис. 3.9).

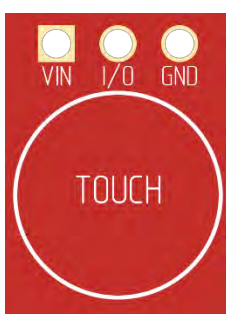


Рис. 3.9. Сенсорний датчик TTP223

Сенсорний датчик має напругу живлення в діапазоні 2...5,5 В, час відгуку складає 60 мс у активному режимі та 220 мс – у режимі пониженого енергоспоживання, також має маленькі розміри та вагу, відповідно 24×24 мм та 3 г.

Термістор змінює свій опір залежно від температури навколишнього середовища, таким чином він може використовуватися як аналоговий датчик температури. Діапазон робочих температур від -30°C до +125°C, номінальний опір 10 кОм з точністю 0,05°C.

З обраних вище комплектуючих на макетній платі було складено робочий прототип приладу для вимірювання температури безконтактним методом з функцією передачі даних через Bluetooth на інші пристрої. Після проведення всіх налаштувань прилад готовий до кінцевої збірки. Макетна плата приладу наведена на рис. 3.10.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



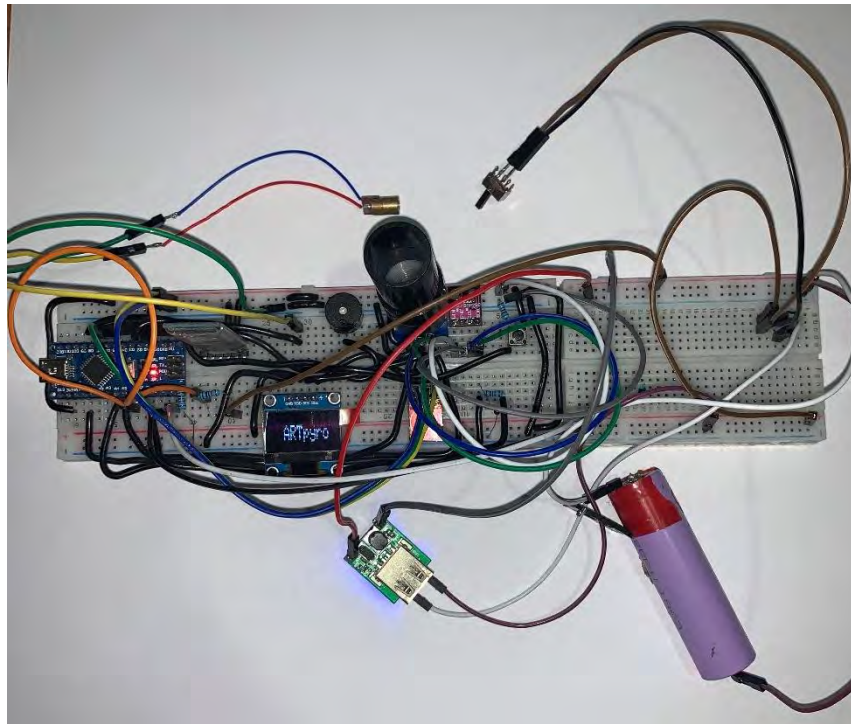


Рис. 3.10. Сконструйована макетна плата приладу безконтактного вимірювання температури

Елементи підібрані таким чином, щоб вони доповнювали, гармонійно взаємодіяли та не перчили роботі один одного.

### Висновки до розділу 3

У межах третього розділу було здійснено підбір елементів для побудови приладу безконтактного вимірювання температури.

До основних компонентів пристрою входить апаратно-програмна платформа (Arduino Nano v 3.0), компактний OLED-дисплей, датчики безконтактного вимірювання температури об'єктів, температури навколишнього середовища, вологості та тиску, Bluetooth-модуль з метою інтеграції мобільного додатку та додаткові елементи, покликані полегшувати використання пристрою користувачем. Підібрані комплектуючі дали змогу зробити компактний пристрій з безліччю корисних для кінцевого користувача функцій. Подальша робота буде направлена на розробку корпусу пристрою.

					ДП 6105.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## РОЗДІЛ 4. КОНЦЕПЦІЯ ПРИЛАДУ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

### 4.1. Огляд функціоналу та принципу користування приладу безконтактного вимірювання температури

Основна функція спроектованого пристрою – безконтактне вимірювання температури, але у межах даного проєкту було вирішено розширити функціонал та додати можливість виміру таких показників як атмосферний тиск, вологість та температура навколишнього середовища.

Для початку виміру необхідно направити пристрій на об'єкт дослідження та натиснути на кнопку (1). На головному екрані зображується поточний показник замірів, показники останніх трьох замірів температури, показники контактного вимірювання та показник заряду акумулятора. Для налаштування приладу під корпус вбудована сенсорна кнопка (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Інструкція по використанню пристрою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 6105.00.000 ПЗ

Арк.

53

Щоб відкрити меню налаштувань необхідно доторкнутися до місця зазначеного під цифрою (2) та затримати палець на 1 с. Переключати зазначені позиції потрібно натиснути 1 раз, для включення/виключення позиції – затримати кнопку на 1 с. Для виходу з меню необхідно натиснути і тримати 3 с. На екрані (4) зазначено другий режим, де відображаються вимірювання значень додаткових показників: вологості, тиску та температури НС.

Коли перемикач (1) знаходиться в положенні ON – прилад вмикається, про що свідчить поява на екрані логотипу ARTруго. Micro USB-вхід (2) слугує для зарядки приладу, а звичайний USB-вхід (3) можна використовувати для зарядки інших девайсів (рис. 4.2).

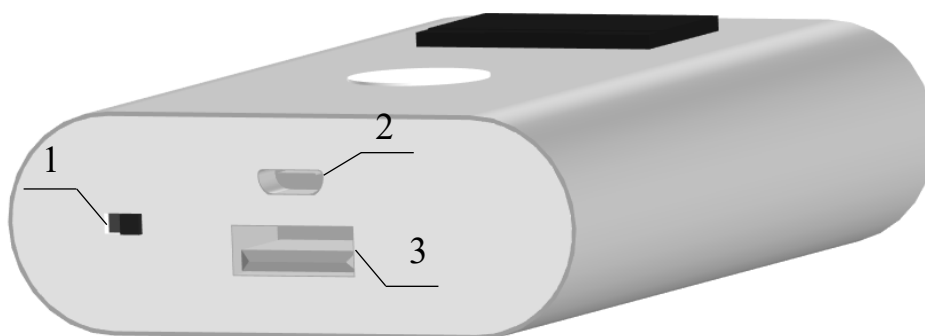


Рис. 4.2. Панель зарядки та переключення режимів

Як бачимо з оглянутого функціоналу, прилад простий та зручний у використанні, тому буде користуватися попитом при вимірюванні як професіоналами на виробництві, так і звичайними користувачами у побуті.

#### 4.2. Огляд функціоналу прототипу мобільного додатку

Можливість більш детального налаштування, ознайомлення з динамікою виміру показників та інші функції будуть наведені у мобільному додатку. Розробка програмного забезпечення для мобільного додатку виконана на мові програмування C# (C Sharp) у середовищі розробки Unity (додатки Г, Д, Е).

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 6105.00.000 ПЗ				

Застосунок буде доступний в App Store та Google Play. Для початку роботи необхідно скачати у відповідному магазині програму для смартфонів ARTrуго. Потім на головному екрані обираємо графу «Підключення», де з'являється на вибір користувача два шляхи – «З'єднання за допомогою Bluetooth» та «З'єднання за допомогою Internet» (рис. 4.3).

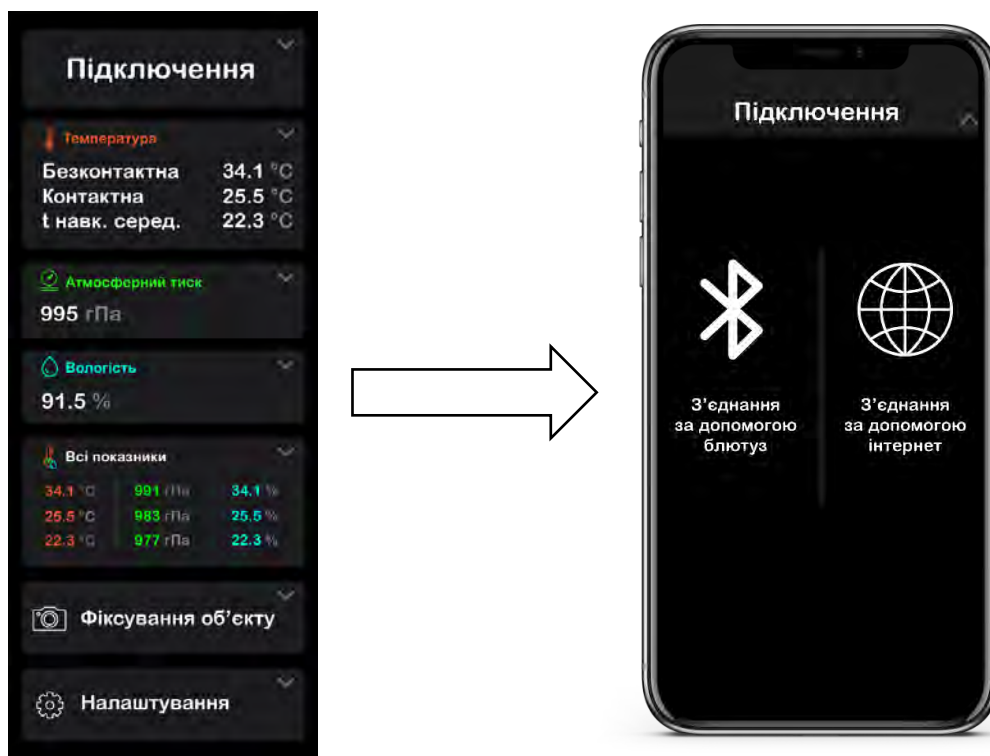


Рис. 4.3. Інтерфейс мобільного додатку ARTrуго

Після успішного підключення, користувача повертає назад на головну сторінку, де він далі зможе продовжувати роботу у додатку. Нижче від «Підключення» розміщуються блоки «Температура», «Атмосферний тиск» та «Вологість», в яких наведено поточні значення показників. Крім цього, у блоках є можливість переглянути зміни показників за певний проміжок часу на графіках, встановити проміжок часу виміру показників та поділитися інформацією з іншими (рис. 4.4). Зазначимо, що у графі «Температура» окремо наводяться графіки 3-х різних температур: безконтактної, контактної та температури навколишнього середовища.



Рис. 4.4. Загальний вигляд блоків «Температура», «Атмосферний тиск» та «Вологість»

Також у застосунку користувач може переглянути інформацію про вимірювання одразу всіх результатів вимірювання у блоці «Всі показники». Крім цього, у даній графі є можливість обирати, які саме показники необхідно відображати. Для більш зручного візуального ознайомлення, отриманні дані наведено у окремих блоках. Аналогічно, як і у попередніх графах є змога поділитися з іншими та встановити часовий діапазон вимірювання (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Можливості графі «Всі показники»

Блок «Фіксування об'єкту» покликаний відобразити поточний об'єкт вимірювання та значення його температури. Отриманим зображенням зручно ділитися з іншими по електронній пошті або у різних месенджерах. І останній блок – «Налаштування» дає змогу дистанційно налаштовувати спроектований прилад безконтактного вимірювання температури за допомогою смартфона або планшетного комп'ютеру. Загальний вигляд блоків «Фіксування об'єкту» та «Налаштування» наведені на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Вигляд блоків «Фіксування об'єкту» та «Налаштування» у мобільному застосунку ARTруго

Комплексну роботу додатку та пірометра наведено у додат. Б та В. Мобільний застосунок ARTруго призначений перетворити вимірювання температури та інших показників на максимально зручний, простий, зрозумілий та ефективний процес для кожного.

## Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було розглянуто загальну концепцію приладу дистанційного вимірювання з розширеним функціоналом та мобільним застосунком до нього.

Поєднання такого приладу з мобільним додатком дасть можливість користувачу швидко отримати достатньо точні результати щодо вимірювання різних показників, забезпечить зручність та зрозумілість отримання даних, змогу ділитись з іншими людьми показниками в реальному часі. Даний прилад буде до вподоби кожному, тому він є універсальним.

Використання приладу разом з додатком стане незамінним при вимірюванні у фіксованому місці з певним часовим інтервалом. Залишивши пристрій біля об'єкту контролю користувач може бачити результати на екрані свого телефону.

					<i>ДП 6105.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## ВИСНОВКИ

У першому розділі дипломного проєкту було досліджено теоретичні основи безконтактного вимірювання температури, що дало змогу визначити сфери застосування пірометрів, загальний принцип дії, встановити різницю у роботі різних типів безконтактних вимірювачів температури.

У другому розділі було проведено моделювання оптичної системи та здійснено розрахунок її основних параметрів, що дало змогу встановити її оптимальну ефективність. Крім цього, було побудовано електричну схему пристрою безконтактного вимірювання температури, що дозволило в подальшому сконструювати робочий макет прибору.

У межах третього розділу було здійснено підбір елементів конструкції приладу, проаналізовано основні технічні характеристики та визначено їх переваги.

У четвертому розділі здійснено опис концепції мобільного застосунку для ефективного управління процесом вимірювання температури пірометром та дано характеристику його функціональних можливостей.

Отримані результати у даному дипломному проєкті дозволили побудувати модель робочого пристрою та дали поштовх до подальшої оптимізації його роботи та розробки мобільного додатку, що ефективно працює у комплексі з ним. Використання саме таких елементів дозволило зробити достатньо просту і недорогу конструкцію пірометру, при цьому забезпечивши його достатньою точністю вимірювання.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галаган Р.М. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов / Р.М. Галаган, А.В. Муравьев, А.С. Томашук // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій (матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції), 2019. – С. 169-171.
2. Дерев'янюк О.А. Автоматика для запобігання вибухам і пожежам: посіб. / О.А. Дерев'янюк та інші. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 279 с.
3. Поскачей А.А. Оптико-электронные системы измерения температуры / А.А. Поскачей, Е.П. Чубаров. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 246 с.
4. Неделько А.Ю. Преимущества и недостатки бесконтактного измерения температуры [Текст] / А.Ю. Неделько // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – N 7. – С. 29-30.
5. Законы теплового излучения [Электронный ресурс] / Теплонадзор. – Режим доступа: <https://teplonadzor.ru/laws/>.
6. Стадник В.Й. Оптика: навч. посібн. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 360 с.
7. Бабич О.О. Визначення бесконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл / О.О. Бабич, Н.М. Александрова // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1. – С. 69-71.
8. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 206 с.
9. Брао І. Аналіз проблематики та перспективних напрямів розвитку бесконтактної термометрії [Текст] / І. Брао // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – Вип. 75. – С. 40-44.
10. 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.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

11. Андреев А.Н. Оптические измерения / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин и др.: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга: Логос, 2012. – 416 с.

12. Дембовский В.В. Технологические измерения и приборы в металлургии: учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 70 с.

13. Поліщук В.М. Фотометрія: конспект лекцій / В.М. Поліщук. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 147 с.

14. Чистофорова Н.В. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров: учеб. пособ. / Н.В. Чистофорова, А.Г. Колмогоров. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200 с.

15. Фрунзе А.В. Пирометры спектрального отношения: преимущества, недостатки и пути их устранения / А.В. Фрунзе // Фотоника, 2009. – № 4 – С.32-37.

16. Протасов А.Г. Многоканальный стенд для контроля температуры / А.Г. Протасов // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ, 2015. – № 49(1) . – С. 61-68.

17. 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.

18. Морозов М.А. Современная лазерная дальнометрия / М.А. Морозов, А.В. Муравьев // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – С. 38.

19. Муравьев А.В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А.В. Муравьев // 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.

					<b>ДП 6105.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

# ДОДАТКИ

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Найменування приладу

Прилад для безконтактного вимірювання температури

### 2. Мета виконання дипломного проєкту та призначення приладу

Розробка приладу дистанційного вимірювання температури з додатковими функціоналом та мобільним додатком, що може використовуватися як у виробничих цілях, так і у побуті

### 3. Передумови для розробки приладу

Розробка даного приладу виконується згідно тематики дипломного проєктування, затвердженої кафедрою приладів і систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### 4. Вимоги до технічних характеристик

Основні параметри:

- кут поля зору  $2\omega = 1,2^\circ$ ;
- робочій спектральний діапазон  $\Delta\lambda = 8 - 14$  мкм;
- діапазон вимірюваних температур  $-70...380^\circ\text{C}$

### 5. Робочі умови експлуатації приладу

Для коректної роботи приладу робочий температурний діапазон встановлений у межах  $-10...40^\circ\text{C}$

### 6. Вимоги до конструкції приладу

Система повинна зберігати працездатність й свої параметри відповідно до ГОСТ 17516-72. Крім цього:

- конструкція системи повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації;
- система повинна мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування;

- органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування системою;
- органи, які використовуються для одноразового налагодження системи або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу системи або на задній малодоступній панелі;
- використані покупні вироби та матеріали, під час випробування системи повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби системи

#### **7. Техніко-економічні вимоги**

Передбачається виготовлення одного зразка приладу, собівартість даного виробу розраховується відповідно до вартості всіх комплектуючих, задіяних у конструюванні

#### **8. Вимоги до упаковки**

Передбачається пакування у картонну упаковку з пінопластовим футляром у середині для забезпечення захисту та цілісності приладу при транспортуванні

#### **9. Стандартизація та уніфікація**

Передбачається наявність експлуатаційної документації відповідно до ГОСТ 25565-94

#### **10. Вимоги до техніки безпеки**

Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування системи повинні відповідати ГОСТ 122007-75 та ГОСТ 123019-80. Середній час без відмовлень роботи системи, повинен бути не менше 500 год

#### **11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс**

Строк зберігання приладу складає 3 роки, строк служби – 5 років, технічний ресурс складає 1000 год

**Фотографія макету приладу та інтерфейсу користувача розробленого мобільного додатку**



Мобільний додаток для приладу безконтактного вимірювання температури у дії



*Додаток Г*

**Клас для побудови графіків в мобільному додатку ARTруго**

*Додаток Д*

**Клас для обробки вхідних даних**

*Додаток Е*

**Клас для фіксування об'єктів виміру за допомогою камери**