

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

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології в приладобудуванні»
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків
газу на газопроводах»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПК-11мп
Гаренко Олексій Володимирович _____

Науковий керівник:

доцент, к.т.н.
Муравйов Олександр Володимирович _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

професор, д.е.н.
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

професор, д.т.н.
Защепкіна Наталія Миколаївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Гаренку Олексію Володимировичу

1. Тема дисертації «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., старший викладач кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. № 4110-с.
2. Термін подання студентом дисертації «15» грудня 2022 року.
3. Об'єкт дослідження: процес виявлення витоків газу на газопроводах за допомогою тепловізійної системи.
4. Вихідні дані: точність вимірювання температурних показників $\pm 1^{\circ}\text{C}$, спектральний діапазон роботи $\Delta\lambda = 8 - 14$ мкм, кут поля зору об'єктива $2\omega = 40^{\circ}$, діапазон вимірюваних температур $-10 - 450^{\circ}\text{C}$.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розділ 1. Аналітичний огляд; Розділ 2. Проектування тепловізійної системи; Розділ 3. Підбір основних

комплектуючих для тепловізійної системи; Розділ 4. Розробка стартап-проекту тепловізійної системи.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: функціональна схема тепловізійної системи, оптична система тепловізора, підбір комплектуючих для тепловізійної системи.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К. О., професор, д.е.н.		

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Збір та аналіз літературних джерел для написання магістерської дисертації. Складання бібліографії наукових джерел	3 тижні	
2.	Систематизація теоретичного матеріалу	1 тиждень	
3.	Підбір комплектуючих для конструкції приладу	1 тиждень	
4.	Розробка функціональної схеми майбутнього приладу	1 тиждень	
5.	Розрахунок оптичних елементів	3 тижні	
6.	Розробка оптичної схеми	3 тижні	
7.	Формування загальних висновків	1 тиждень	
8.	Остаточне оформлення магістерської дисертації, підготовка презентаційного матеріалу	1 тиждень	

Студент

Олексій ГАРЕНКО

Науковий керівник

Олександр МУРАВЬОВ

АНОТАЦІЯ

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних при проведенні дослідження літературних джерел та додатків. Обсяг основної частини дисертації складає 72 сторінки. Робота містить 23 рисунка та 27 таблиць.

У межах даної магістерської дисертації було проведено дослідження теоретичних основ термографії, розроблено функціональну схему пристрою, синтезовано оптичну систему тепловізора, здійснено підбір електронних комплектуючих та обґрунтовано розробку стартап-проєкту для комерційного використання як спеціалістами у їх роботі, так і звичайними користувачами у повсякденному житті.

Ключові слова: тепловізійна система, тепловізор, детектування газу, автоматизація, тепловізійне бачення

ABSTRACT

The goal of the master's dissertation is the development of an automated thermal imaging system that can be used in production or at heavy industry enterprises to detect gas leaks in gas pipelines.

The content of the master's thesis includes an introduction, four chapters, conclusions, a list of sources used in the research and appendices. The work is posted on 72 pages, contains 23 figures and 27 tables.

Within the framework of this master's thesis, a study of the theoretical foundations of thermography was carried out, a functional scheme of the device was developed, a thermal imaging system was designed, the selection of optimal device components was carried out, and the development of a startup project for commercial use by both specialists in their work and ordinary users in everyday life was substantiated.

Keywords: thermal imaging system, thermal imager, gas detection, automation, thermal vision

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	11
1.1. Важливість точної та швидкої локалізації витоків газу	11
1.2. Загальна характеристика тепловізорів, основні переваги та сфери застосування	12
1.3. Принципи теплового випромінювання	15
1.4 Принцип роботи оптичної візуалізації газу	20
1.5. Загальна класифікація тепловізорів, їх принцип роботи та схематичне представлення	21
1.6. Характеристика аналогів на сучасному ринку тепловізійних систем для відстеження витоків газу	25
Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ	31
2.1 Функціональна схема пристрою тепловізійної системи	31
2.2 Конструкція оптичної системи	32
2.3 Моделювання оптичної системи тепловізора	35
Висновки до розділу 2	40
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ОСНОВНИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ	42
3.1. Апаратно-програмна платформа ESP32-CAM	42
3.2. Дисплей 2.8» 240x320 TFT LCD SPI	43
3.3. Матрична тепловізійна ІЧ-камера FLIR Lepton	45
3.4. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, живлення	47
Висновки до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ «VISION»	51

4.1. Суть та опис проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»	51
4.2. Ринкові можливості реалізації проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»	53
4.3 Ринкова стратегія проєкту	61
4.4. Маркетингова програма проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»	64
Висновки до розділу 4	68
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ІЧ – інфрачервоне випромінювання;

КРТ – монокристал кадмій-ртуть-телур;

QWIP – Quantum well infrared photodetector;

LCD – рідкокристалічний дисплей;

АПП – апаратно-програмна платформа;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

TFT – тонкоплівковий транзистор (Thin-Film Transistor).

ВСТУП

Актуальність проблематики. Однією з актуальних проблем у промисловості на сьогоднішній день залишається проблема своєчасного виявлення місць витоків газу в трубопроводах. При цьому, як показав проведений аналіз, найбільш поширеними місцями витоків газу є:

- зварні, фланцеві та різьбові сполуки, пошкоджені корозією;
- ділянки, уражені блукаючими струмами;
- місця механічних ушкоджень;
- приєднання контрольно-вимірювальних приладів та газової арматури.

Устаткування для візуалізації витоків газів досягло високого рівня розвитку та стало відносно доступним для великих виробничих та сервісних компаній уже понад десять років тому. Так, у США на державному рівні тепловізійний метод виявлення витоків газів внесений до списку рекомендованих до застосування на небезпечних промислових об'єктах. В Україні з початку надходження на ринок подібних приладів відзначається попит, що постійно зростає, диктується необхідністю і доцільністю їх використання як заміна відомим класичним способам виявлення газових витоків, до яких відносяться аудіовізуальні способи, періодичні обходи з використанням портативного газоаналізатора, використання датчиків тиску і різних скануючих систем. Безсумнівно, частина з цих методів є швидкими, зручними у використанні, не потребують особливих навичок від обслуговуючого персоналу. У той же час застосування найбільш доступних варіантів пов'язане з підвищенням частки ризику пропуску витоків на ранніх стадіях їх формування.

Метод тепловізійної візуалізації витоків газів використовується на об'єктах видобутку, транспортування, переробки та зберігання. Практично

обов'язковими для застосування приладів та спеціально навченого персоналу будуть ділянки з великою кількістю потенційно можливих для появи витоків елементів, а також важкодоступні місця, які розглядаються як необхідні для проведення планових перевірок на герметичність.

Мета магістерської дисертації полягає у розробці тепловізійної системи для пошуку витоків газу.

Актуальність проблематики теми дослідження та її мета обумовлюють виконання ряду завдань, таких як:

- провести аналіз теоретичних основ термографії;
- спроектувати модель тепловізора;
- здійснити підбір комплектуючих тепловізійної системи;

Об'єктом дослідження даної магістерської дисертації виступає процес пошуку газових витоків з використанням тепловізійної системи.

Предмет дослідження є детектування витоків газу.

Структура та обсяги. Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та коротких висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 72 сторінках без врахування додатків та містить 21 рисунок, а також 27 таблиць. Список використаних літературних джерел налічує 46 посилань на роботи досліджуваної проблематики різних авторів.

46. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

46.4. Важливість точної та швидкої локалізації витоків газу

Сучасна промисловість – як видобувна, так і переробна – виробляє та споживає велику кількість різноманітних газів. Їх витік може призвести до низки негативних наслідків:

- загроза отруєння людей;
- загроза пожежі чи вибуху;
- забруднення навколишнього середовища;
- посилення парникового ефекту;
- економічні втрати;
- та інші.

Тому необхідність своєчасного виявлення та усунення витоків очевидна.

В даний час застосовується кілька методів, що відрізняються складністю реалізації та вартістю:

1. *Обмилювання місць можливого витоку.* Цей метод дозволяє виявити точне місце витоку, і навіть локалізувати відразу кілька витоків на одній ділянці. Але мильний розчин призводить до корозії металів, що знижує термін експлуатації обладнання. Цей метод не можливо застосовувати на об'єктах, що знаходяться у місцях з мінусовою температурою. Також він трудомісткий і малоефективний.

2. *Встановлення газоаналізатора.* Цей метод не дозволяє точно визначити місце витоку і лише дає інформацію про перевищення концентрації певного газу. Детектор приладу налаштований на реєстрацію певного газу та не зможе зареєструвати витік іншого. До плюсів можна віднести компактність та можливість використання кожним співробітником персонального приладу.

3. *Акустичні детектори.* Визначають витік різних типів газів, але діють на невеликій відстані, а інтерпретація їх показань може бути складною навіть для досвідченого фахівця.

4. *Оптичні детектори.* Найдорожчий із представлених варіантів. Однак дозволяє визначати витік більшості газів, що використовуються в промисловості, на безпечній для людини відстані. За рахунок детектування інфрачервоного випромінювання можна визначити температуру газового факела.

1.2. Загальна характеристика тепловізорів, основні переваги та сфери застосування

Під тепловізорами слід вважати прилади, призначені для спостереження нагрітих об'єктів на предмет їх теплового випромінювання. Людське око сприймає дуже обмежену частину електромагнітного випромінювання – видиме світло. Цього достатньо, щоб побачити кольори, форми, але недостатньо, щоб охопити світ цілком. Людина відчуває теплову енергію та інфрачервоні промені лише тактильно, що незручно, оскільки неможливо визначити точну температуру і є ризик обпектися. Тому такі прилади перетворюють невидиме для людського ока інфрачервоне випромінювання в електричні сигнали, які після посилення та автоматичної обробки знову перетворюються у видиме зображення предметів. Іншими словами, тепловізор знімає «тепловий профіль» об'єктів і навколишнього середовища [1-4].

Застосування тепловізорів обумовлено необхідністю пошуку гарячих (іноді холодних) місць у температурному полі, наявність яких свідчить про порушення нормальної роботи об'єкта чи обладнання, небезпечні дефекти, втрати енергії тощо. Хороший тепловізор дозволяє не тільки локалізувати ці гарячі точки, але й виміряти їх температуру [5, 6].

В даний час області застосування тепловізорів стрімко розширюються і мають практично необмежений потенціал. Це обумовлено здатністю обладнання реагувати на найменші зміни температурних параметрів, які не помітні людському оку. Основною умовою роботи техніки є випромінювання електромагнітних хвиль, що виходять від досліджуваного об'єкта.

Сьогодні тепловізійні системи використовуються в наступних сферах:

- у будівництві одним із основних напрямів термоконтролю є загальний енергетичний аудит будівель і споруд з метою оптимізації енергетичних витрат;
- Іншим напрямком будівельної термографії є тепловізійний контроль систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
- серед інших напрямків тепловізійного контролю в будівництві можна виділити пошук місць проникнення вологи, пошук трубопроводів гарячої та холодної води та їх розривів;
- для ранньої діагностики можливих несправностей технічних пристроїв (місць перегріву технічних вузлів і деталей);
- сучасні мисливці часто використовують тепловізори для вистежування диких тварин;
- у медицині для ідентифікації інфікованого хворого за температурою тіла, визначення джерела захворювання та встановлення діагнозу;
- у промисловості прилади допомагають контролювати нормальний хід технологічних процесів і запобігати аварійним ситуаціям;
- наукові тепловізійні прилади допомагають проводити експерименти та лабораторні дослідження;
- тепловізори все частіше застосовуються у військовій справі як прилади нічного бачення для виявлення теплового контрасту в будь-який час доби;
- у роботі пожежників та МНС, щоб можна було знайти потерпілого в зоні поганої видимості та безпечно вибратися звідти тощо.

– Дуже активно використовуються в охоронній сфері завдяки здатності бачити зловмисників у повній темряві;

– Пристрої з високою чутливістю використовують правоохоронні органи. Вони здатні показати, що хтось тримав дверну ручку близько тридцяти хвилин – на ручці залишається розводи тепла.

– Несправні механічні та електричні пристрої нагріваються через тертя, коротке замикання та з інших причин. Тепловізори визначають нагрів без розбирання обладнання [7-10].

Основними сферами застосування промислових тепловізорів є теплові обстеження будівельних майданчиків, усунення несправностей електромереж, моніторинг виробничих процесів та інші випадки, коли про технічний стан контрольованих об'єктів можна судити за змінами теплового поля.

Завдяки різноманітним перевагам ці пристрої мають широкий спектр застосування. Розглянемо основні з них:

– Відсутність зв'язку та віддаленість процесу контролю. Прилади можуть реєструвати показники відстані в кілька метрів від об'єкта;

– Мобільність обладнання. Прилади мають невеликі габарити і вагу, що значно спрощує процес вимірювання;

– Швидкість вимірювання. Тепловізор дозволяє досліджувати велику кількість об'єктів за найкоротший час і з найменшими витратами;

– Наочність. Теплове зображення відразу ж відображається на екрані вимірювального приладу. Наприклад, обробка результатів і складання звіту тепловізійного обстеження будівельного майданчика займає в середньому 2-3 дні;

– Незалежність від розміру об'єкта. Можливість бачити дрібні (розміром до кількох сантиметрів) і дуже великі (розміром до сотень метрів) об'єкти за допомогою одного приладу;

– Безпека. Тест не шкодить здоров'ю людини.

Особливою перевагою таких приладів, як тепловізори, є те, що вони можуть представляти температуру досліджуваного об'єкта не у вигляді сухого набору цифр, а візуально. Це дозволяє побачити зв'язок між явищами, вловити загальні тенденції, що відбуваються. Але в той же час тепловізор також надає дуже точні дані про температуру. Таке унікальне поєднання наочності і точності відкриває перед тепловізорами величезні можливості в різних сферах людської діяльності.

Незважаючи на відносно високу вартість тепловізійних камер виявлення газу, їх використання для моніторингу газового обладнання та трубопроводів може бути вигідним у довгостроковій перспективі.

По-перше, за допомогою тепловізора можна виявити витік в найкоротші терміни і без зупинки виробничого процесу, що особливо важливо у випадку з виробництвами, закриття яких може спричинити великі фінансові втрати.

По-друге, можливості віддаленого моніторингу та роботи з інфрачервоним діапазоном дозволяють тестувати важкодоступні з'єднання.

По-третє, своєчасний контроль і усунення витоків сприяє дотриманню екологічного законодавства і знижує ймовірність штрафів.

По-четверте, моніторинг температури з'єднань і деталей дозволяє запобігти витоку.

1.3. Принципи теплового випромінювання

Усі нагріті тіла, як тверді, так і рідкі, характеризуються безперервним розподілом випромінювання з єдиним максимумом у спектрі електромагнітних хвиль, розташування якого безпосередньо залежить від температури об'єкта. Тобто чим більше теплової енергії випромінює об'єкт, тим вища його температура.

Під тепловим випромінюванням слід вважати електромагнітні хвилі різної довжини, які випромінює нагріте тіло за рахунок власної внутрішньої енергії.

Наочно електромагнітний спектр теплового випромінювання зображено на рисунку 1.1.

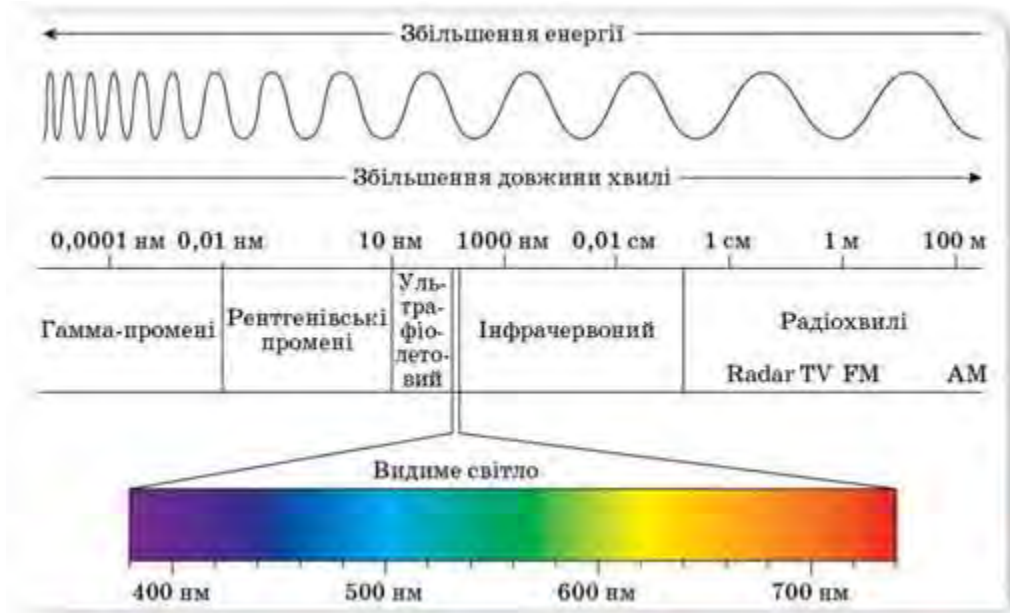


Рисунок 1.1. Спектр випромінювання електромагнітних хвиль

Теплові промені видимі людським оком при температурі від 500 до 600 градусів за Цельсієм, тоді як інтенсивність світіння нагрітого тіла збільшується в рази зі збільшенням температури. Промені з довжиною хвилі до 40 мікрон відносяться до ультрафіолетового спектру, вони невидимі. Промені, видимі людським оком, коливаються від 0,40 до 0,75 мкм, а промені від 0,75 мкм до 400 мкм належать до інфрачервоного спектру випромінювання. При вимірюванні температури використовується зона інфрачервоного випромінювання і діапазон електромагнітних хвиль, видимих оком людини [11-14].

У фізиці для контролю температури нагрітих тіл і розрахунку теплового випромінювання використовується модель ідеального об'єкта – чорного тіла (blackbody) – тіла, яке поглинає все випромінювання будь-якої частини спектра електромагнітних хвиль. Крім поняття «абсолютно чорне тіло» існує ще поняття

«сіре тіло» - тіла, які мають однакову здатність поглинання по всій довжині електромагнітної хвилі, мають спектр, подібний до спектру абсолютно чорного тіла. Загалом поглинальна здатність тіл залежить від довжини хвилі та температури, і їх спектр може суттєво відрізнятись від спектра чорного тіла [15–17].

Закон, створений науковим дуєтом Больцманом і Стефаном, є одним із фундаментальних законів теплового випромінювання. Закон свідчить, що всі тіла навколо нас випромінюють теплове випромінювання, оскільки вони завжди дорівнюють температурі абсолютного нуля $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто якщо абсолютна температура подвоїться, то інтенсивність випромінювання збільшиться в шістнадцять разів. Закон Стефана-Больцмана виражається коефіцієнтом випромінювання (q) чорного тіла, пропорційним четвертому степеню його абсолютної температури (T):

$$q = \sigma \cdot T^4, \quad (1.1)$$

де $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2\text{)/K}^4$ – константа Стефана-Больцмана.

Щоб перейти до сірого тіла, потрібно коефіцієнт випромінювання (<1) помножити на результат. Варто зазначити, що закон Стефана-Больцмана враховує лише загальну випромінювану енергію.

Закон Кірхгофа показує відношення енергії випромінювання Україна до поглинальної здатності (A), є однаковим для всіх об'єктів при даній температурі (T) і не залежить від форми об'єкта, його хімічного складу тощо.

$$E(\lambda, T)/A(\lambda, T) = e(\lambda, T) \quad (1.2)$$

Тобто, чим більше енергії об'єкт поглинає на даній довжині хвилі (λ) при даній температурі (T), тим більше енергії об'єкт випромінює при цій заданій температурі та довжині хвилі. Наприклад, поверхні з високим ступенем «чорноти» мають хорошу здатність поглинати теплову енергію і є хорошими

випромінювачами такої енергії, чого не можна сказати про глянцевої поверхні, оскільки вони мають низьку здатність поглинання і низький коефіцієнт поглинання. Реальні тіла характеризуються коефіцієнтом поглинання менше одиниці, тобто мають меншу випромінювальну здатність, ніж абсолютно чорне тіло [18–20].

Значний внесок у розвиток радіаційної термодинаміки зробив видатний німець Вільгельм Він. Його закон описує зміну місця максимального розподілу енергії в діапазоні випромінювання абсолютно темного тіла. Тобто довжина хвилі ($\lambda_{\text{макс}}$), на яку припадає максимум енергії в спектрі повністю чорного тіла, обернено пропорційна його абсолютній температурі (T):

$$\lambda_{\text{макс}} = b/T, \quad (1.3)$$

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

У 1900 році інший видатний німецький учений Макс Планк висунув гіпотезу про те, що кожен осцилятор випромінює і поглинає енергію кінцевими порціями, тобто квантами. У своїй гіпотезі Планк додав нову форму функції $f(\lambda, T)$, яка повністю узгоджується з експериментами:

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1\right]}, \quad (1.4)$$

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

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

T – абсолютна температура;

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

λ – довжина хвилі.

При заданих значеннях температури максимум інфрачервоного випромінювання припадає на область, де спостерігається розсіювання енергії в спектрі випромінювання чорного тіла. Видима частина випромінюваної енергії відповідає заштрихованій частині рисунка 1.2 і займає діапазон від 0,40 до 0,75 мкм [21-23].

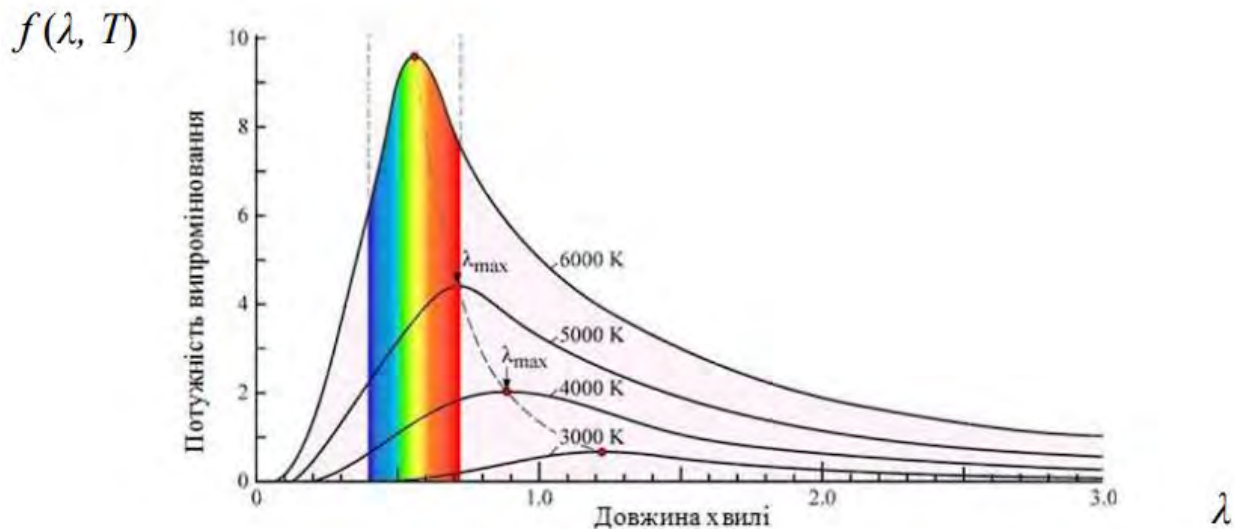


Рисунок 1.2. Розподіл енергії у спектрі випромінювання при різних температурах

На малюнку вище показана залежність функції $f(\lambda, T)$ від довжини хвилі спектра випромінювання при різних рівнях температури. Тобто з підвищенням температури значення функції $f(\lambda, T)$ зростає по всьому спектру і рухається в бік максимального діапазону, який характеризується короткими хвилями [24-27].

Закони вчених Віна і Планка пояснюють появу світла у видимій області спектра нагрітого тіла. Закони свідчать, що при підвищенні температури домінує короткохвильове випромінювання. Тіла, нагріті до температури близько 500°C , випромінюють видиме для людського ока світіння. При поступовому зниженні температури нагрітим тілам властиво довгохвильове

випромінювання, наприклад, ми можемо спостерігати перехід від білого світіння розпеченого тіла до червоного..

1.4 Принцип роботи оптичної візуалізації газу

Яскравим прикладом роботи методів візуалізації газів є тепловізор серії GF. Конструктивно тепловізор є портативним приладом, оснащеним об'єктивом, екраном. Основний робочий орган – інфрачервоний детектор як чутливий елемент. Електроніка обробляє сигнал із детектора. На екран виводиться термограма, приклад якої зображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3. Візуалізація витоку бутану

Робота таких пристроїв полягає в тому, що газ поглинає інфрачервоний спектр у певному діапазоні. Чутлива камера визначає, який діапазон інфрачервоного випромінювання поглинений і візуалізує це місце. Такі камери створені на основі найсучасніших технологій і мають надчутливі детектори. Для порівняння, більшість вуглеводнів поглинають інфрачервоне випромінювання в діапазоні 3,2-3,4 мікрометра, а вуглекислий газ (CO₂) – 4,2-4,4 мікрометра. Це дуже вузький спектр, тому кожен пристрій має вбудований спеціальний фільтр OGI (optical gas imaging – візуалізація газів). Фільтр обмежує довжину хвилі

розповсюдження газу, відповідає за візуалізацію та виведення графічної інформації про локалізацію витoku на екран пристрою.

Усі об'єкти випромінюють і відбивають інфрачервоне випромінювання, сукупність цих випромінювань ми назвемо фоновим випромінюванням. Коли це випромінювання потрапляє до об'єктиву ІЧ-камери, воно проходить через лінзу до фільтра, який пропускає на детектор довжини хвиль, що відповідають газам, для пошуку яких призначена дана камера. Таким чином, якщо між фоновими об'єктами та ІЧ-камерою знаходиться витік газу – «газова хмара», ця хмара поглинає частину фонового випромінювання у спектрі відповідного газу. При цьому кількість випромінювання, що передається детектору, буде меншою, що дозволяє камері візуалізувати газ

1.5. Загальна класифікація тепловізорів, їх принцип роботи та схематичне представлення

Як було сказано раніше, тепловізори — це оптико-електронні пристрої, які вимірюють температуру та її градієнт в інфрачервоному діапазоні спектра, а потім виводять на дисплей теплове поле досліджуваного об'єкта. Сучасні тепловізори складаються з таких основних вузлів: об'єктива, матриці (чутливого елемента) і електронного блоку обробки сигналу. Випромінювання інфрачервоного спектра через оптику фокусується на датчик випромінювання, який подає сигнал у вигляді змінної напруги або електричного опору, потім перетворюється в електронне зображення, тобто термограму, що виводиться на екран дисплея. Термограма — це зображення об'єкта, оброблене електронним способом для відображення на дисплеї, на якому різні градації кольорів відповідають розподілу інфрачервоного випромінювання на поверхні об'єкта. Таким чином, користувач пристрою 19 може переглядати термограму, що відповідає тепловому випромінюванню, що йде від поверхні об'єкта [28-30].

Сучасні тепловізори можна класифікувати за критеріями, але в цій роботі ми наведемо основні параметри, за якими їх можна розділити на класи в залежності від їх будови або застосування.

За принципом отримання зображення тепловізори слід розділити на скануючі та матричні. Особливістю скануючих тепловізорів, або, частіше їх називають тепловізорів з оптико-механічним скануванням, є термограма, отримана при скануванні простору. Функціональна схема скануючого тепловізора наведена на рис. 1.4.

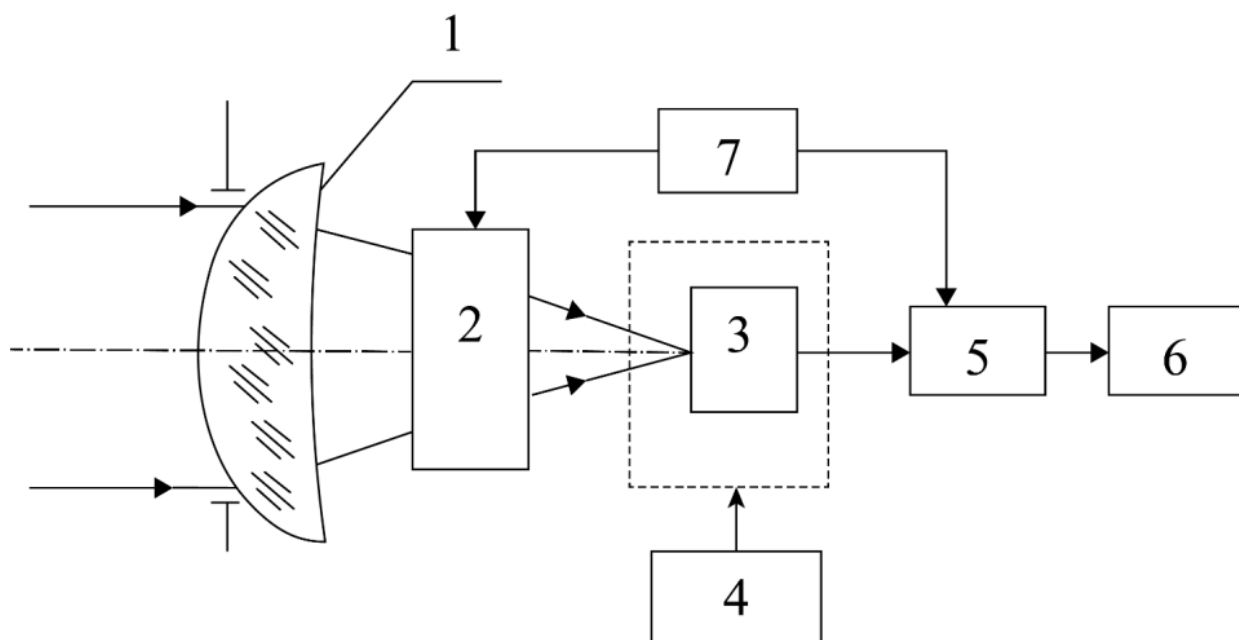


Рисунок 1.4. Загальна функціональна схема скануючого тепловізора: 1 – оптична система; 2 – блок оптико-механічного сканування; 3 – датчик; 4 – система охолодження; 5 – електронний тракт; 6 – відеоконтролюючий пристрій; 7 – система синхронізації

Система використовує коливальні та обертові дзеркала, а також призми, щоб направити випромінювання від кожної точки спостережуваного простору

до приймача. Приймач або датчик, що сприймає випромінювання, може бути одним елементом, лінією чутливих елементів або матрицею менших розмірів. Основна перевага використання скануючих пристроїв полягає в тому, що вимірювання виконуються за допомогою одного датчика в однокомпонентній системі. Недоліками є наявність рухомих елементів у конструкції та відносно швидке формування термограми [31–33].

Загалом, система пристрою повинна мати можливість сканувати простір об'єктів як у горизонтальному напрямку, так і у вертикальному напрямку рамки.

У фокальній площині своєї оптичної системи матричні тепловізори мають багатоеlementний приймач інфрачервоного випромінювання – матрицю. На рис. 1.5. Наведена проста схема матричного тепловізора.

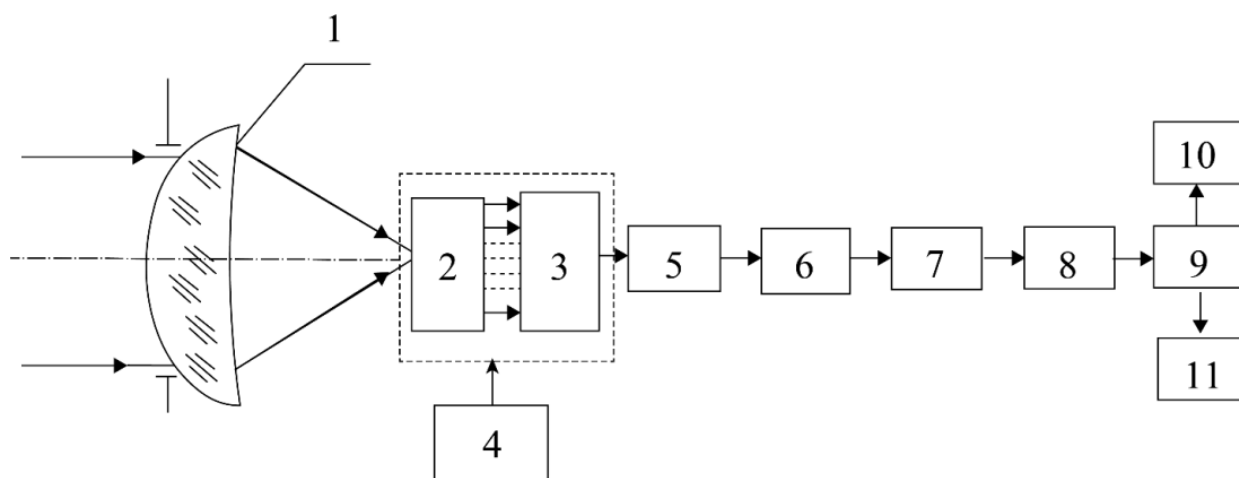


Рисунок 1.5. Узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ-матрицею: 1 – оптична система; 2 – фокальна матриця із підсилювачами; 3 – мультиплексор; 4 – система охолодження; 5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів; 6 – аналогово-цифровий перетворювач; 7 – цифровий коректор неоднорідності; 8 – коректор; 9 – формувач зображення; 10 – дисплей; 11 – цифровий вихід

Кожна точка або піксель термограми є результатом трансформації інфрачервоного випромінювання досліджуваного об'єкта матричним сенсором. У сучасних матричних тепловізорах розміри матриці та тепловізора сильно відрізняються. Недорогі моделі на ринку тепловізійних систем мають матрицю 60x60 або 180x180 пікселів, а більш професійні пристрої мають вбудовану матрицю 640x480 пікселів. Розмір матриці сильно впливає на вартість тепловізора, оскільки матриця та ІЧ-оптика є найдорожчими компонентами тепловізорів [34–36].

Тому скануючі тепловізори використовуються для вузького кола конкретних завдань, де важливо використання унікальних функцій, тоді як матричні камери охоплюють цілий ряд більш практичних завдань.

За спектральним діапазоном теплові зображення поділяють на короткохвильові та довгохвильові.

Короткохвильові тепловізори мають ефективний спектральний діапазон від 3 до 5 мікрон. Ці пристрої краще називати середньохвильовими, оскільки вони працюють в середньохвильовому інфрачервоному діапазоні. Короткохвильовими вони називаються тільки по відношенню до довгохвильових тепловізорів, оскільки тільки ці два спектральні діапазони використовуються в поширеній практиці управління тепловізором при тепловізійних вимірюваннях. Лінзи таких приладів виготовлені з кремнію [37–39].

Довгохвильові тепловізійні матриці не вимагають додаткового охолодження, а робочий спектральний діапазон становить від 8 мкм до 14 мкм. Лінзи для даного типу приладів в основному виробляють з германію.

За типом виконання, тепловізори, поділяються на стаціонарні та переносні. Стаціонарний використовується для моніторингу певної території та передачі інформації по лінії зв'язку. Такі прилади активно використовуються в

системах відеоспостереження, на виробництві для визначення температурного режиму рухомих об'єктів або поверхонь.

Портативні або носимі, вони використовуються для тепловізійної зйомки об'єктів у будівництві, енергетиці, промисловості та інших сферах. Сучасні моделі представлені у вигляді моноблока, який включає в себе оптику, матрицю, електроніку, дисплей, пульт управління, плату для запису і зберігання теплових зображень. Також Такі тепловізори можуть додатково оснащуватися камерами, лампами з додатковим підсвічуванням, лазерами та аудіогарнітурами. Портативні, компактні, їх вага може коливатися від 350 г до 2 кг, і вони можуть житися без проводів від батарей [40, 41].

По можливості вимірювання температури тепловізори бувають:

- спостережні – візуалізують теплове випромінювання об'єкта, представляючи інтенсивність інфрачервоного випромінювання за допомогою обраної колірної шкали або, іншими словами, палітри;
- Вимірювальні прилади, призначені для безконтактного вимірювання температури об'єкта та візуалізації температурних полів.

Тому, незважаючи на різноманіття тепловізорів, всі вони виконують однакову функцію – перетворення інфрачервоних променів у візуальні термограми, які виводяться на дисплей.

1.6. Характеристика аналогів на сучасному ринку тепловізійних систем для відстеження витоків газу

На сучасному ринку тепловізійних систем існує величезний асортимент різних моделей, що можуть відрізнятися одне від одної ціною, габаритністю, дизайном, технічними характеристиками, різноманіттям функціонала, особливостями програмного забезпечення, наявністю застосунків для смартфонів тощо.

Для підвищення видимості певних газів на газодетекторні камери встановлюється фільтр, що обмежує спектр чутливості спектральної. Спектри поглинання більшості газів, що використовуються в промисловості, лежать у двох вікнах: 3,2-3,5 мкм і 10,2-10,5 мкм.

Тепловізор із чутливістю в діапазоні 3,2-3,5 мкм підійде для реєстрації витоків:

- Бензол;
- Етанол;
- Етилбензолу;
- Гептану;
- Ізопрену;
- та інших газів.

Тепловізор із чутливістю в діапазоні 10,2-10,5 мкм підійде для реєстрації витоків:

- SF₆;
- Аміаку;
- Етилену;
- Фреона 11 та 12;
- Ацетилхлориду;
- Фурана;
- Гідразіна;
- та інших.

З типом матриці все простіше: більшість представлених на ринку моделей оснащені QWIP-детекторами. Альтернативою їм є КРТ-пристрої. Але через складнішу експлуатацію та вищу вартість вони значно поступаються за поширеністю. Пристрої на квантових ямах мають більш низьку ефективність

перетворення та більш високу чутливість до темного струму, проте для ефективного виявлення витоків газу їх характеристик достатньо.

Поле зору впливає розмір контрольованої області. Якщо вам потрібно спостерігати за відносно великим приміщенням, варто звернути увагу на цей параметр.

Фокусна відстань впливає на дистанцію, з якої можна знайти витік. Для більшості представлених на ринку моделей фокусна відстань коливається між 0,25 та 0,8 м.

Тепловізійна камера моделі GF 706 призначена для швидкої реєстрації витоків SF6 та має діапазон спектральної чутливості 10,3-10,7 мкм з піком на 10,55 мкм. Вона оснащена QWIP-детектором, що охолоджується, з роздільною здатністю 320x256 пікселів, відеокамерою з роздільною здатністю 5 Мп, кольоровим OLED мікродисплеєм і 5-дюймовим LCD-екраном. Загальний вигляд тепловізора GF706 наведено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6. Загальний вигляд тепловізора GF 706

Кілька режимів роботи, регульовані яскравість і контраст, колірна палітра, що настраюється, та інші додаткові функції дозволяють вирішувати широкий спектр завдань. Об'єм вбудованої пам'яті (SD) варіюється від 8 до 32 Гб, дані можна зберігати у форматі jpeg-зображень або MPEG-4 (для відео).

Тепловізійна камера моделі FG-106 має широкий набір додаткових функцій: корекція зображень, плавний зум, ізотермія, термографія та інші. Крім реєстрації витоків елєгаза здатна виявляти інші небезпечні та шкідливі гази. Загальний вигляд тепловізора GF 106 наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7. Загальний вигляд тепловізора GF 106

Для визначення витоків на нафтохімічному виробництві використовують газодетекторні тепловізійні камери моделей GL 1000 та FG-100. Вони здатні швидко візуалізувати більшість вибухонебезпечних летких органічних сполук,

здійснити точне визначення температури газу, оснащені видошукачем високої точності та дисплеєм з високою роздільною здатністю. Загальний вигляд газодетекторної тепловізійної камери GL 1000 наведено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8. Загальний вигляд газодетекторної тепловізійної камери GL 1000

Всі прилади є компактними, переносними, можуть використовуватися в польових умовах та експлуатуватись у широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

Висновки до розділу 1

Було розглянуто та проаналізовано теоретичні основи термометрії, що дало змогу зробити наступні висновки:

– поява тепловізорів відкрила перед ученими нові можливості для вивчення теплових процесів. Цей прилад дозволяє візуалізувати розподіл температури, наочно і що важливо, дає точну інформацію про ступінь нагріву різних частин досліджуваного об'єкта;

– розгляд основних закономірностей теплового випромінювання дозволив зрозуміти, на чому базуються теплові зображення та що лежить в основі їх роботи;

– огляд принципів роботи основних типів тепловізорів, основних представників цього типу приладів, дозволив мені глибше зануритися в конструкцію приладу, що згодом послужило міцною основою для проєктування власного приладу.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Функціональна схема пристрою тепловізійної системи

Функціональна схема покликана відобразити процеси, що відбуваються у функціональних колах пристроїв.

Функціональна схема тепловізійної системи представлена на рис. 2.1.

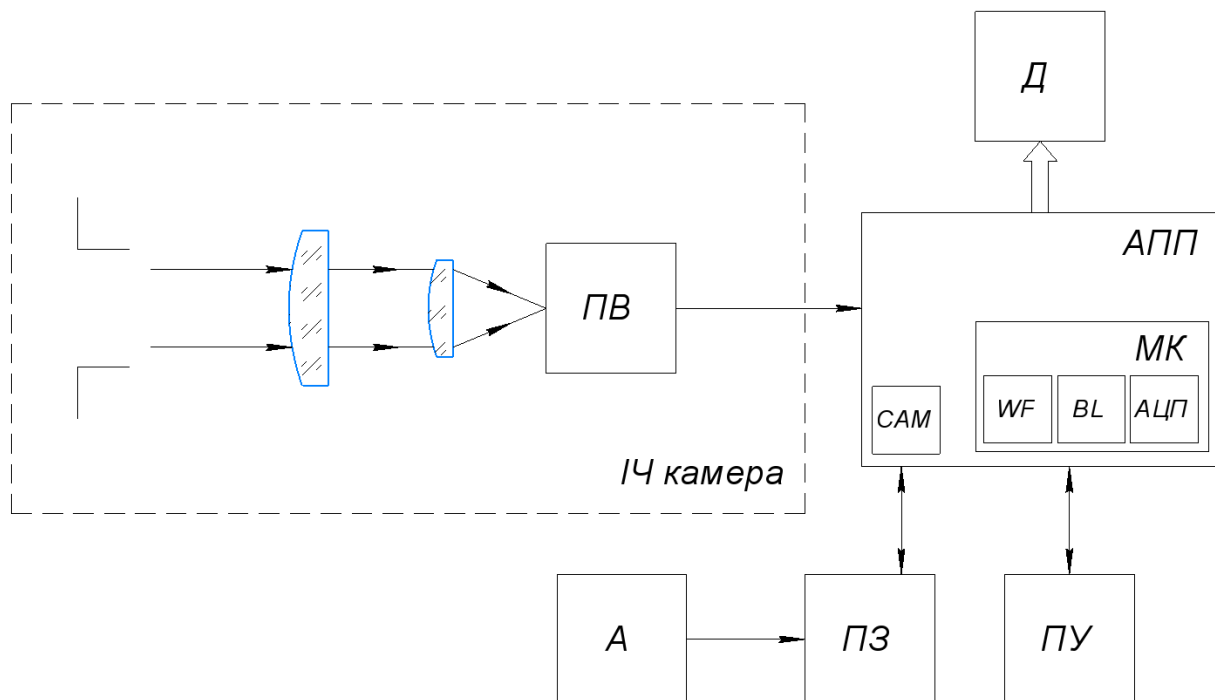


Рис. 2.1. Функціональна схема тепловізійної системи

Інфрачервоні промені від досліджуваного об'єкта через оптичну систему приладу направляються і фокусуються на датчик, який приймає інфрачервоне випромінювання (ІЧ). З датчика вже оцифрований сигнал надходить на програмно-апаратну платформу (АПП) для подальшої обробки. Архітектура AMS вже включає мікроконтролер (МК) ESP32 з 12-розрядним аналого-цифровим перетворювачем (надалі АЦП).

Варто відзначити, що мікроконтролер має вбудований модуль WI-FI і модуль Bluetooth, які можна використовувати для віддаленої передачі даних.

АПП має 2-мегапіксельну камеру, яку можна використовувати для додаткових накладень теплового зображення, що повинно візуально покращити теплове зображення. Отримані результати вимірювань формуються в зображення, яке в залежності від температури перефарбовується в відповідний колір і виводиться на TFT дисплей (Д) діагоналлю 2,8 дюйма. Управління пристроєм здійснюється за допомогою системи, що складається з сенсорних і механічних кнопок (ПУ). Джерелом живлення є літій-іонний акумулятор 18650(A), підключений до зарядної плати (ПЗ) з посиленням вихідного струму до 5 В.

Детальний огляд усіх компонентів розробленої тепловізійної системи, їх технічні характеристики та переваги розглядаються в наступному розділі.

2.2. Конструкція оптичної системи

Враховуючи, що тепловізор буде використовуватись у виробничих умовах доцільно подбати про захист оптичної системи від механічних пошкоджень. Тому перед самою оптичною системою необхідно встановити захисну плоскопаралельну пластину.

Після захисної пластини буде розміщена лінза для фокусування корисного світлового потоку на область приймача випромінювання. Оптична система буде складатися з двох меніскових лінз.

Перша лінза з позитивним радіусом кривизни забезпечує збирання, та фокусування випромінювання на наступній оптичній поверхні.

Після того, як випромінювання сфокусовано першою лінзою, воно потрапляє на наступну лінзу, яка служить для фокусування випромінювання на матриці детектора ІЧ-випромінювання (рис. 2.2).

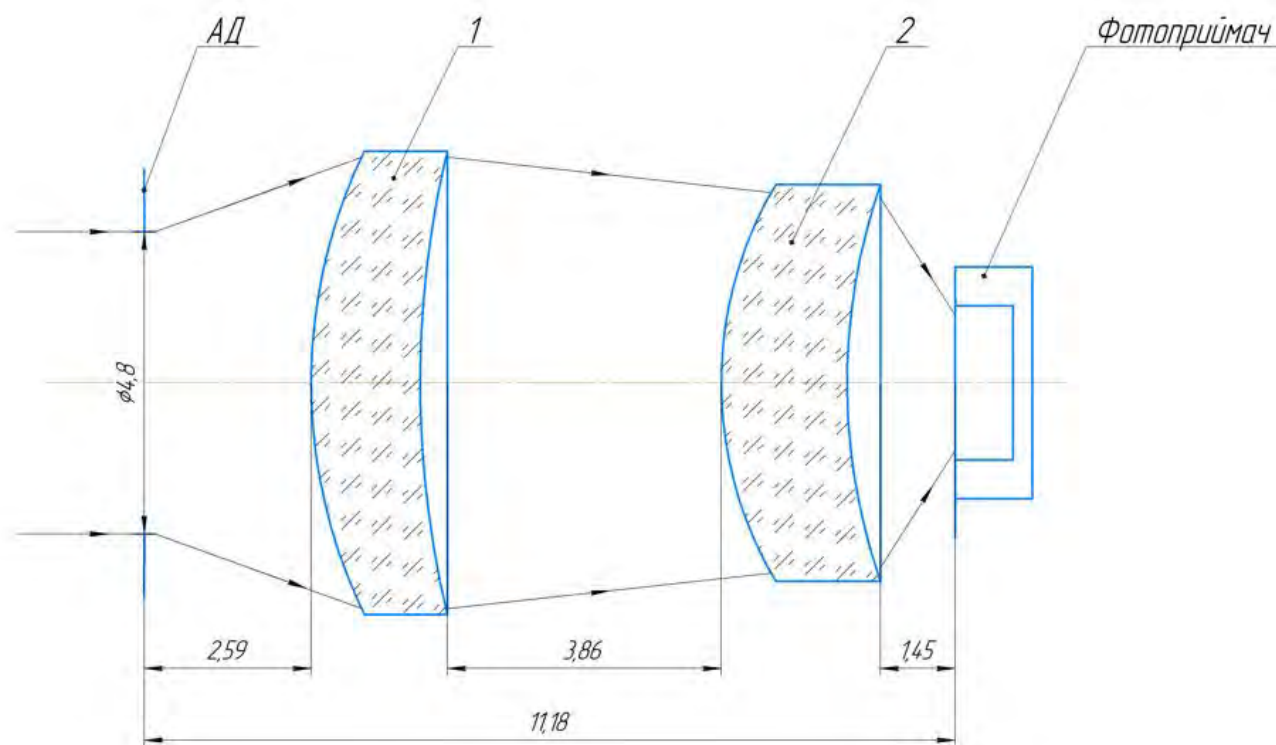


Рис. 2.2 Оптична схема запропонованої системи: АД – апертурна діафрагма; 1 – перша фокусуєча лінза; 2 – друга фокусуєча лінза

Важливе значення, особливо для інфрачервоного діапазону, має матеріал, з якого виготовлені лінзи. Основна вимога до матеріалів оптичних лінз полягає в тому, що вони повинні пропускати випромінювання з довжинами хвиль, що покривають діапазон довжин хвиль, до якого чутливий детектор випромінювання.

Для роботи в дальньому інфрачервоному діапазоні знадобляться матеріали, придатні для цього діапазону. Розглянувши всі можливі варіанти, було вирішено, що найбільш прийнятним буде використання наступних оптичних матеріалів: германій (Ge), сульфід цинку (ZnS), селенід цинку (ZnSe),

оскільки вони мають високу пропускну здатність на бажаних довжинах хвиль, а саме:

- Ge – 2...15 мкм;
- ZnS – 1...14 мкм;
- ZnSe -1...22 мкм;

Крім того, як видно з діаграми на рисунку 2.3. Оптичні матеріали на основі цинку мають значно більшу смугу пропускання для хвиль, які сприймає детектор. Це свідчить про те, що теоретично такі матеріали є найкращим вибором для тепловізійної технології. Але насправді такі оптичні матеріали дуже дорогі та складні у виготовленні, тому включення таких матеріалів може значно збільшити собівартість виготовленого тепловізора.

В більшості випадків матеріал, який використовується для оптичної системи тепловізора, це – германій.

З германію може бути виготовлена і плоска пластина, яка служить захисним склом тепловізора.

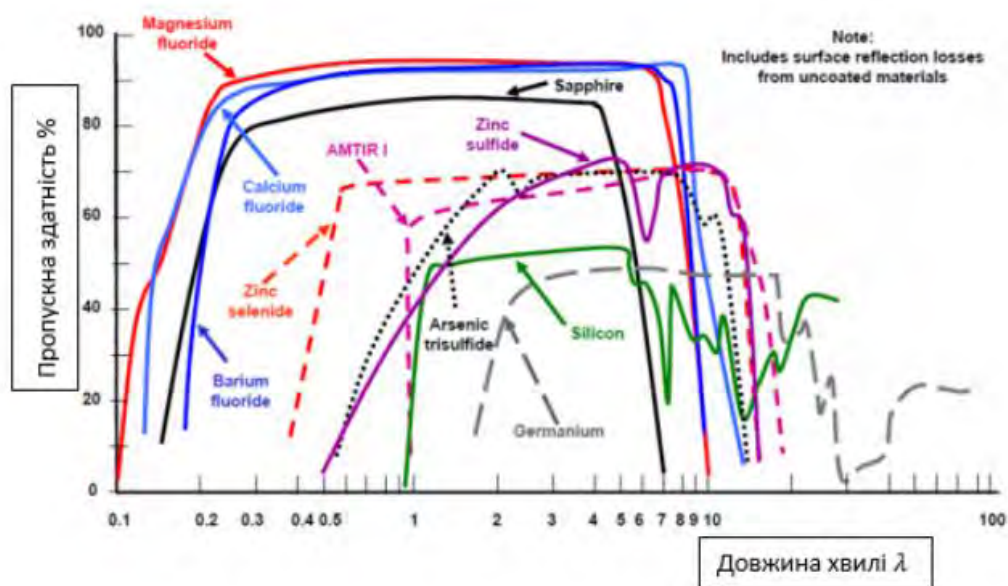


Рис. 2.3. Графік пропускну здатності матеріалів для ІЧ-випромінювання

2.3 Моделювання оптичної системи тепловізора

Першим кроком у моделюванні оптичної системи є вибір матеріалу, з якого вона буде виготовлена. Стандартним і найбільш розповсюдженим матеріалом для тепловізійних лінз є германій. Діапазон пропускання ним інфрачервоного випромінювання становить 8 – 14 мікрон, що дає можливість виявляти об'єкти за рахунок їх власного випромінювання. Тепловізор, який ми проектуємо, має в оптичній системі дві германієві лінзи, що дозволило сфокусувати зображення на обраній нами матриці та досягти великого кута огляду системи. Змоделюємо оптичну систему за допомогою програми Zemax. Конструктивні особливості системи, яку ми проектуємо, наведені на рис. 2.4.

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic		
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000		
STO	Standard		Infinity	2.593	V	2.400	0.000		
2	Standard		9.285	V	1.500	V	GERMANIUM	3.610	0.000
3	Standard		11.769	V	3.859	V		3.320	0.000
4	Standard		5.648	V	1.776	V	GERMANIUM	3.087	0.000
5	Standard		6.834	V	1.453	V		2.449	0.000
IMA	Standard		Infinity	-		1.615	0.000		

Рис. 2.4. Конструктивні параметри оптичної системи тепловізора у Zemax

Основними конструктивними параметрами було задано робочій спектральний діапазон $\Delta\lambda = 8 - 14$ мкм, розмір пікселя 40 мкм, кут поля зору $2\omega = 40^\circ$, діаметр вхідної зіниці $D = 3.8$ мм, відносний отвір $D / f' = 1 : 1$.

Відповідно до введених даних було отримано наступний вигляд моделі оптичної системи (рис. 2.5).

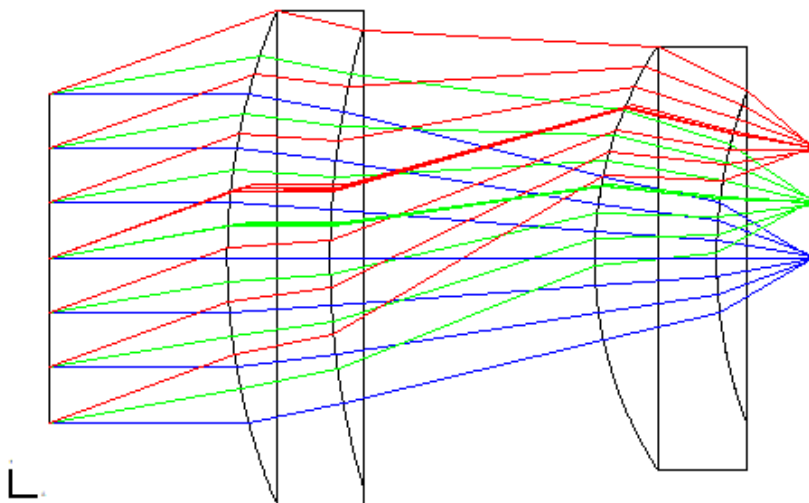


Рис. 2.5. Модель оптичної системи тепловізора

Функціонал Zemax також дав можливість отримати тіньову модель оптичної системи (рис. 2.6).

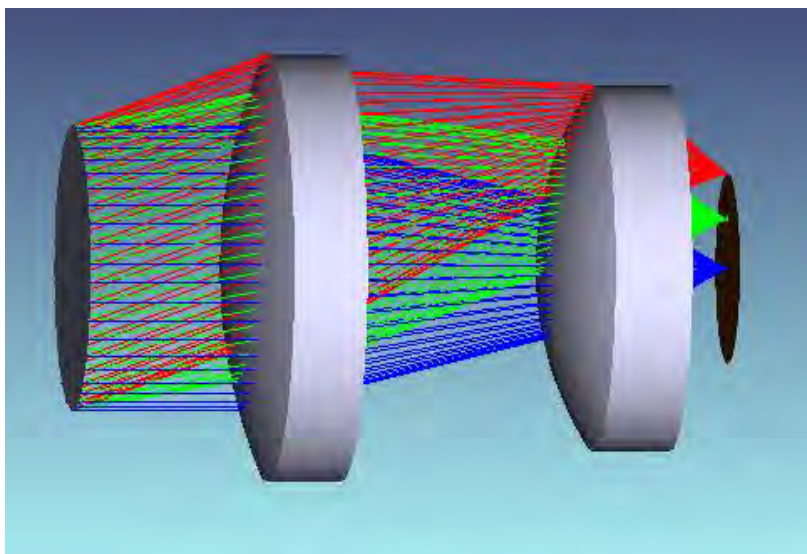


Рис. 2.6. Тіньова модель оптичної системи тепловізора

Як видно з малюнка, ІЧ-промінь проходить через систему лінз і фокусується безпосередньо на матриці детектора випромінювання.

На основі моделювання було отримано наступні параметри оптичної системи (рис. 2.7).

```

System/Prescription Data

File : C:\Users\Kai\Documents\Zemax\Samples\LENS.ZMX
Title:
Date : 05.12.2022

GENERAL LENS DATA:

Surfaces          :          6
Stop              :          1
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 4.8
Glass Catalogs   : SCHOTT INFRARED
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 : 4.631378 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 4.631378 (in image space)
Back Focal Length  : 1.549051
Total Track       : 11.18145
Image Space F/#    : 0.9648704
Paraxial Working F/# : 0.9648704
Working F/#       : 0.9821226
Image Space NA     : 0.4600973
Object Space NA    : 2.4e-010
Stop Radius        : 2.4
Paraxial Image Height : 1.685684
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 4.8
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 31.27407
Exit Pupil Position : 30.27143
Field Type         : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 20
Primary Wavelength : 8 µm
Lens Units         : Millimeters
Angular Magnification : -0.1534817

Fields            : 3
Field Type        : Angle in degrees
#      X-Value    Y-Value    Weight
1      0.000000   0.000000   1.000000
2      0.000000   10.000000  1.000000
3      0.000000   20.000000  1.000000

Vignetting Factors
#      VDX      VDY      VCX      VCY      VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

Wavelengths      : 3
Units: µm
#      Value    Weight
1      8.000000  1.000000
2     10.000000  1.000000
3     12.000000  1.000000

```

Рис. 2.7. Загальні параметри змодельованої оптичної системи

Оцінімо якість зображення оптичної системи за просторово-частотними, енергетичними та геометричними властивостями. Просторово-частотні характеристики відображає модуляційна передавальна функція (рис. 2.8).

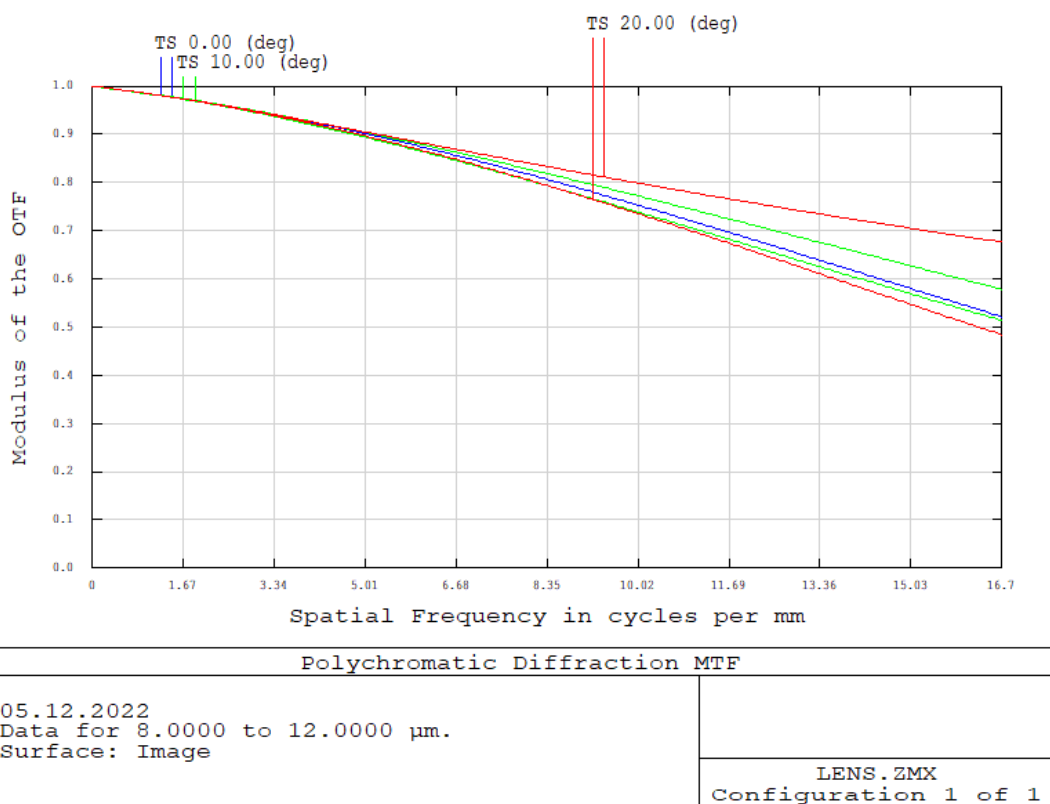
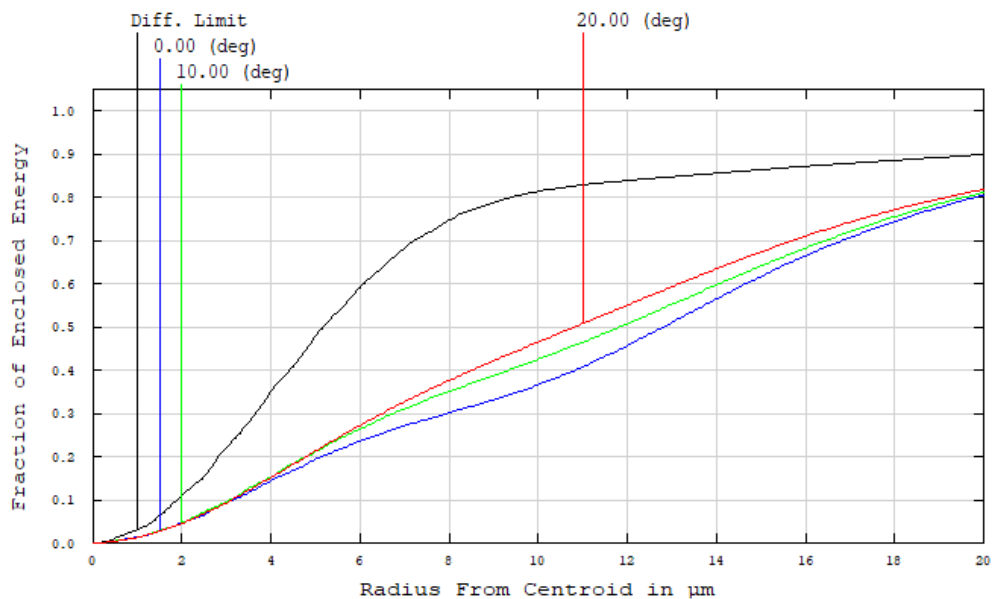


Рис. 2.8. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

На рисунку край поля зору об'єктиву $\omega = 20^\circ$ показаний червоним кольором, осьовий промінь з $\omega = 0^\circ$ зображено синьою лінією на графіку.

Оцінимо енергетичні характеристики оптичної системи за допомогою функцію концентрації енергії (рис. 2.9).



FFT Diffraction Encircled Energy

05.12.2022
Wavelength: Polychromatic
Surface: Image

LENS.ZMX
Configuration 1 of 1

Рис. 2.9. Функція концентрації енергії оптичної системи тепловізора

Геометричні характеристики оцінимо за допомогою діаграми плям розсіювання (рис. 2.10).

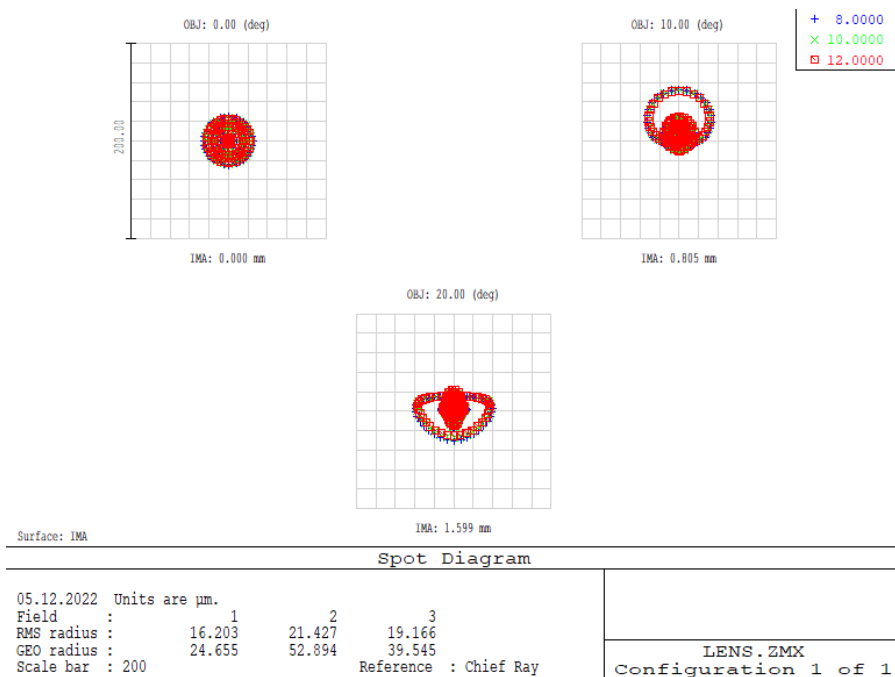


Рис. 2.10. Діаграма плям розсіювання оптичної системи тепловізора

Таким чином, запропонована змодельована оптична система тепловізора є достатньо оптимізованою та ефективною, що дозволить сконструювати досить точний за вимірюванням прилад.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було спроектовано тепловізійну систему. Відповідно, були зроблені наступні висновки:

- створено функціональну схему приладу для тепловізійного обстеження об'єктів, яка стала міцною основою для створення проекту майбутнього приладу та дала змогу підібрати до нього найбільш оптимальні компоненти;
- проведено моделювання оптичної системи тепловізора в програмі Zemax, що дало можливість оптимізувати систему та графічно її змоделювати.

– На основі розрахунків в програмі Zemax було створено оптимізовану оптичну систему, елементи якої забезпечують гарні результати отриманого зображення.

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Апаратно-програмна платформа ESP32-CAM

ESP32-CAM — це настроювана плата на основі модуля Wi-Fi/Bluetooth ESP32-S і камери OV2640 із вбудованим слотом для карт microSD. Таке вдале поєднання компонентів корисно при складанні багатьох пристроїв, зокрема, робототехніки, домашньої автоматизації, сканерів різноманітних графічних кодів, тощо. (рис 3.1).



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд апаратно-програмної платформи ESP32-CAM

Роздільна здатність матриці камери становить 2 мегапікселі. На платі є сильний білий світлодіод, який керується через GPIO. Модуль ESP32-CAM можна запрограмувати за допомогою Arduino IDE.

Ось основні технічні характеристики ESP32-CAM (табл. 3.1).

Технічні характеристики ESP32-CAM

Характеристики	Параметри
Підтримка Wi-fi мережі	802.11 b/g/n/e/i
Максимальна частота мікроконтролера	240 МГц
Об'єм ОЗП	520 КБ вбудований + 4М зовнішній PSRAM
Об'єм ПЗУ (в складі чіпу ESP32)	448 КБ
Об'єм ПЗУ (зовнішній чіп на платі)	32 Мбит
Напруга живлення	5В
Максимальний споживчий струм (Wi-fi, камера та підсвітка)	350 мА
Діапазон робочої температури	-20°C..+85°C
Розмір плати	40.5 x 27 мм

Технічні характеристики ESP32-CAM ідеально підходять для побудови тепловізора. Основними перевагами такої АПП є: – зовсім невеликі габарити плати; – доступність; – економія часу за рахунок зручності використання; – технічні характеристики, які значно кращі за аналоги; – кросплатформенність – програмне забезпечення може бути встановлено на такі платформи як Windows, Linux і macOS. ESP32-CAM користується високим попитом завдяки своїй зручності та універсальності.

3.2. Дисплей 2.8» 240x320 TFT LCD SPI

2.8» 240x320 TFT LCD SPI – графічний дисплей, що базується на контролері ILI9341 з керуванням через SPI. Роздільна здатність – 240×320 пікселів. Плата дисплею містить вбудований слот для карток SD (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд дисплея

Thin Film Transistor (TFT) – це варіант рідкокристалічного дисплея (LCD), який використовує тонкоплівкові транзистори для покращення якості зображення, наприклад адресації та контрастності. В його основі покладена матриця тонкоплівкових транзисторів. Коли подається напруга, кристали в матриці повертаються один до одного, що призводить до чорного кольору. Коли ми вимикаємо напругу, кристали стають білими. Зміна напруги дозволяє створити будь-який колір на кожному окремому пікселі. Технічні характеристики дисплея наведені в таблиці. 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики дисплею 2.8» 240x320 TFT LCD SPI

Характеристики	Параметри
Інтерфейс	SPI
Робочий струм	3.3 В
Діагональ	2.8»
Розмір дисплея	59 × 48.96
Розмір плати	85 × 48
Роздільна здатність	240 × 320 пікселів

Основною перевагою TFT дисплеїв є їх відносно низька вартість виробництва порівняно з сучасними аналогами. Крім того, даний тип матриці має відмінну яскравість і час відгуку. Через це спотворення непомітні під час перегляду динамічних сцен.

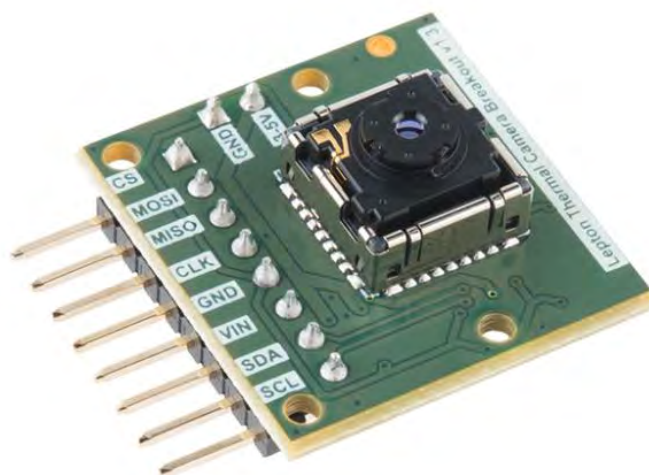
3.3. Матрична тепловізійна ІЧ-камера FLIR Lepton

Для задачі відображення теплового випромінювання витoku газу необхідно підібрати детектор, який буде найбільш ефективним для спостереження. Основним параметром інфрачервоного детектора є спектральний діапазон чутливості. Це діапазон довжин електромагнітних хвиль, які впливають на речовину, з якої виготовлено детектор.

Зазвичай для промислового використання використовуються детектори, чутливі до дальнього інфрачервоного спектрального діапазону 8–14 мкм.

Для використання в цьому тепловізорі було обрано детектор FLIR Lepton, оскільки він чутливий до потрібного спектрального діапазону інфрачервоного випромінювання та має деякі інші параметри, що набагато перевищують рівень його аналогів.

Матрична тепловізійна ІЧ-камера FLIR Lepton працює через інтерфейс I2C і має напругу живлення від 2,5 до 5 В. Датчик сумісний з багатьма платформами, зокрема Arduino, Raspberry Pi та STM (рис. 3.3).



3.3 Зовнішній вигляд матричної тепловізійної камери FLIR Lepton

FLIR Lepton використовує масив теплових датчиків далекого ІЧ-діапазону, які можуть виявляти інфрачервоний розподіл об'єктів у полі зору та перетворювати дані про температуру поверхні за допомогою обчислень, а потім генерувати зображення для вимірювань теплового зображення.

Наведемо основні технічні характеристики FLIR Lepton (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Технічні характеристики датчика FLIR Lepton

Характеристики	Параметри
Інтерфейс	CCI (I2C)
Діапазон температур	-10°C...450°C
Кут	50°×40°
Напруга	2.5В/5В
Роздільна здатність	80×60; ±1°C
Розмір	11.8×12.7×7.2 мм
Струм	<25мА
Частота	8.6Гц~76Гц

Основними факторами, що впливали на остаточний вибір саме цього датчика FLIR, були хороші технічні особливості, малі розміри та низьке енергоспоживання.

3.4. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, живлення

Мікросхема HT4928S має вмонтований підсилювач напруги до 5 В, що ідеально підходить для живлення апаратно-програмної платформи ESP32-CAM, крім того, має модуль powerbank для зарядки інших пристроїв (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Плата зарядки HT4928S з підсилювачем напруги

Технічні характеристики плати зарядки HT4928S наведено в табл. 3.4

Таблиця 3.4

Технічні характеристики плати зарядки HT4928S

Характеристики	Параметри
Вхідна напруга	5 В
Максимальний вхідний струм	1 А
Споживання струму в режимі очікування	8 мкА
Розміри	22 × 18 × 10 мм
ККД	85%
Вага	4 г

Основними причинами вибору акумуляторів в якості джерела живлення є:

– екологія. Після повного використання звичайних одноразових батарейок постає питання про їх утилізацію, коли акумулятори служать набагато довше і їх можна зарядити після розряду;

– економіка. Акумулятори потрібно купувати рідше тож це позитивно вплине на собівартість приладу.

Літій-іонний акумулятор NCR18650B має ємність 3400mAh. Така батарея розрахована на роботу при малих і середніх струмах, що не перевищують 5-6 ампер, тобто її можна використовувати для більшості електроприладів, які потребують живлення від акумулятора (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Літій-іонний акумулятор NCR18650B

Мінімальна напруга під час розрядки – 2,5 В, максимальна під час зарядки – 4,2 В, номінальна напруга – 3,6 В. Акумулятор не має вбудованої плати захисту від розряду, тому його рекомендується використовувати з пристроями, які не допускають розряду нижче 2,5 В. Технічні характеристики наведені в табл. 3.5.

Технічні характеристики акумулятора NCR18650B

Характеристики	Параметри
Тип акумулятора	Li-Ion
Типорозмір	18650
Ємність	3200...3400 мАч
Робоча напруга	2,5...4,2 В
Максимальний струм	6 А
Максимальний струм заряджання	1,7 А
Температура навколишнього середовища при заряді	+10...+45 °С
Температура навколишнього середовища при розряді	-20...+60 °С
Внутрішній опір	~40 мОм
Розміри	18,5×65 мм
Вага	46 г

Термін експлуатації такого акумулятора складає 300 циклів зарядів та розрядів, при цьому ємність акумулятора може впасти до 80% від номінальної.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було обрано набір компонентів для проєктування тепловізійної системи.

Основними компонентами пристрою є апаратно-програмна платформа ESP32-CAM, 2,8» 240x320 TFT LCD SPI – дисплей, матрична ІЧ-камера FLIR Lepton та додаткові компоненти, такі як зарядна плата і акумулятор. Набір компонентів, використаний для створення пристрою дає змогу створити компактний пристрій із гарною якістю зображення, який може бути реалізований в різних формах використання.

Такий вибір необхідних компонентів дозволить збільшити функціонал приладу в майбутньому, кожен із компонентів відносно доступний та досить бюджетний, що дає змогу сконструювати дешевий та ефективний тепловізор.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ «VISION»

46.4. Суть та опис проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Усі стартапи завжди починаються з ідеї. Для успішної реалізації проєкту необхідно чітко сформулювати ядро ідеї, яку необхідно надалі розвивати. Ідея проєкту, що висвітлюється в даній роботі полягає у розробці тепловізійної системи для виявлення витоків газу на газопроводах. Крім цього доцільно зазначити, що розроблений пристрій є універсальним, оскільки може використовуватися як у вирішенні робочих задач, так і у побуті.

Опис ідеї проєкту викладемо у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Опис проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Структурний елемент	Пояснення	Вигода для споживачів
Ідея	Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION	Тепловізійна система призначена перетворити детектування витоків газу на будь-якому газопроводі на максимально простий, зрозумілий та ефективний процес для кожного користувача
Сфера застосування	Основний напрямок застосування – детектування витоків газу, проте пристрій може використовуватися як у виробничих цілях, так і звичайними користувачами у вирішенні повсякденних задач	
Опис унікальних властивостей та характеристик проєкту	Багатофункціональність. Пристрій допомагає визначити дефекти конструкцій газопроводу, помилки в системі опалення, дає змогу виявляти неякісні матеріали, що призводять до витоків газу тощо. Крім цього пристрій має вбудований спеціальний фільтр OGI. Фільтр обмежує довжину хвилі розповсюдження газу, відповідає за візуалізацію та виведення графічної інформації про локалізацію витоку на екран пристрою.	

Як бачимо з таблиці, особливостями тепловізійної системи є її універсальність та наявність спеціального фільтру, що дає змогу камері візуалізувати газ. Крім цього проєктований пристрій має гарну цінову політику, при цьому не страждає якість та точність вимірювання не поступаються продуктам основних гравців на ринку. Наступним кроком на шляху реалізації проєкту є визначення основних техніко-економічних переваг даної ідеї порівняно з продуктами потенційних конкурентів. У якості основних порівняльних характеристик було обрано ціну, універсальність, наявність фільтру OGI, тип живлення та роздільну здатність (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Сильні, слабкі та нейтральні характеристики продукту проєкту
«Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на
газопроводах VISION»

Техніко-економічні характеристики	Потенційні товари конкурентів				Слабкі сторони	Нейтральні	Сильні сторони
	Власний продукт	DALI GF 706	Flir P620	Flir GF77			
Ціна	9000	15000	19500	12600			+
Універсальність	+	-	+	+		+	
Наявність фільтру	+	+	-	-			+
Акумуляторний тип живлення	+	+	+	-		+	
Висока роздільна здатність	+	-	+	-			+

Аналізуючи дані вищенаведеної таблиці, можна зробити висновок, що продукт нашого проєкту має значні переваги над пристроями конкурентів, особливо це виражається у вартості, наявності фільтру та високій роздільній здатності. Найбільш приближеним конкурентом є модель тепловізора фірми Flir P620.

Наступний крок – аудит технології для реалізації задумів ідеї та втілення її у життя. Для цього скористаємося формою табл. 4.3.

Технологічна здійсненність проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Ідея	Технологія для реалізації	Наявність	Доступність
Автоматизованої тепловізійної системи для виявлення витоків газу на газопроводах VISION	Моделювання роботи оптичної системи приладу	+	+
	Проектування приладу з використанням частково готових комплектуючих	+	+
	Програмування приладу в програмному середовищі ARDUINO IDE	+	+

Отже, обрана технологія реалізації ідеї проєкту виступає моделювання роботи оптичної системи приладу та конструювання приладу шляхом збору комплектуючих. В майбутньому можливо доповнення пристрою додатковими функціями, наприклад, встановлення додаткового датчику, що дасть змогу вимірювати показники атмосферного тиску, вологості та температуру навколишнього середовища. Тож, розширення функціоналу дасть змогу посилити конкурентні позиції на ринку серед пропозицій інших виробників.

46.4. Ринкові можливості реалізації проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Ринкове середовище, в умовах якого реалізується задуманий проєкт, вкрай складна та суперечлива. Воно включає в себе як ринкові можливості, так і загрози. Перші визначаються сприятливими чинниками і відкривають нові перспективи для реалізації проєктів. Під ринковими можливостями слід розглядати сприятливі умови, що ми можемо використовувати для реалізації проєкту. Визначення ринкових можливостей та загроз реалізації проєкту дозволяє сформулювати напрям розвитку проєкту з врахуванням середовища

ринку, потреб потенційних споживачів та пропозицій проектів основних конкурентів.

Проведемо аналіз попиту, обсягу та динаміки розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Характеристика потенційного ринку проекту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Показник стану ринку	Характеристика
Кількість основних гравців	3
Загальний обсяг продажів, грн/ум. од.	35 000 000
Динаміка ринку	Зростає
Наявність бар'єрів входу на ринок	Тиск з боку провідних конкурентів
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Патентування та сертифікат якості
Середня норма рентабельності в галузі, %	65%

Отже, підводячи підсумки проведеного аналізу потенційного ринку, ринок є привабливим для входження, оскільки динаміка ринку постійно зростає, а отже, зростає і попит на подібні товари. Основними гравцями на ринку є три провідних виробника електроприладів, а саме DALI, Flir та Xintest. Основними бар'єрами для входження на ринок є тиск з боку згаданих компаній. Тиск з боку основних конкурентів можливо зменшити за рахунок наділення продукту проекту унікальних властивостей, що не притаманні продуктам основним виробникам-конкурентам. Наступний крок – визначення потенційних груп споживачів. Сьогодні важко знайти того, хто ніколи не чув про тепловізори. Хоча знайти людей, що хоч раз тримали у руці цей пристрій набереться не багато, оскільки дані пристрої вважаються задоволенням не з дешевих. Цінова поділлка на дані прилади може сягати від кількох тисяч гривень, при цьому прилади будуть наділені мінімальним набором технічних характеристик, до півмільйона гривень за одну одиницю з високим рівнем якості зображення та

набором додаткових функцій. Тому, незважаючи на велике різноманіття пристроїв, що представлене на ринку, для більшості потенційних споживачів можливість придбати такий прилад залишається недосяжною.

Характеристика цільової групи споживачів тепловізорів нашого проекту наведена у табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних споживачів продукту проекту

Потреба, формуюча ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп споживачів	Вимоги споживачів до товару
Висока точність результатів вимірювання за прийнятною ціною	Інженери, спецробітники та звичайні користувачі	Спеціалісти різного профілю для роботи можуть потребувати ІЧ-камеру з відмінними характеристиками	<ul style="list-style-type: none"> - доступність - компактність - точність виміру - багато-функціональність - зручність у використанні

Тож, потенційними споживачами продукту проекту є інженери та звичайні користувачі, основні вимоги споживачів до пристрою є доступність, компактність та точність вимірювань.

Проведемо аналіз ринкового середовища, визначивши фактори, що сприяють та загрожують реалізації проекту.

Визначимо основні загрози, що можуть стояти на шляху до успішної реалізації проекту у табл. 4.6.

Загрози реалізації проекту

Фактор	Зміст	Можлива реакція
Активність великих гравців	Масштабування бізнесу, що дає можливість зменшити ціни на пристрої	Вдосконалення системи, пропозиція унікальних характеристик
Зниження купівельної спроможності	Зменшення попиту на пристрої, перехід на більш дешеву альтернативу	Постійне вдосконалення якісних характеристик допоможе тримати ціну на доступному рівні для споживачів
Збільшення ціни на комплектуючі	Подорожчання пристрою	Перехід до інших постачальників деталей, самостійне виробництво деталей

Як видно з таблиці, основними загрозами виступають бурхлива діяльність основних конкурентів, зниження купівельної спроможності населення та підвищення цін на комплектуючі елементи.

Визначимо основні можливості, які у майбутньому ми можемо використати аби зміцнити свої позиції на ринку (табл. 4.7).

Можливості реалізації проекту

Фактор	Зміст	Можлива реакція
Розвиток технологій	За допомогою технологій ми зможемо покращити точність приладу, а поява нових споживачів дасть змогу розширити клієнтську базу	Унікальні та якісні властивості продукту допоможуть залучити більше коштів за рахунок продажів, а відповідно ми зможемо розвивати наші технології та залучити більше клієнтів
Нові споживачі		

Розвиваючи свої сильні сторони та використовуючи наявні можливості на ринку можна перекрити загрози та нейтралізувати свої слабкі сторони.

Проведемо аналіз загальних основних ознак конкуренції на ринку та представимо дані у таблиці 4.8.

Ступеневий аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється	Вплив на діяльність
1. Тип конкуренції – олігополія	Ринок, що контролює невелика кількість фірм	Значний
2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний	Представлені моделі закордонних компаній	Середній
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	У межах однієї галузі	Середній
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Категорія телевізорів	Середній
5. За характером конкурентних переваг – цінова	Чим менша вартість приладу	Значний
6. За інтенсивністю – марочна	Існує багато відомих брендів різних виробників	Значний

На ринку представлені товарні позиції як вітчизняних, так і зарубіжних виробників. Для того, щоб зайняти нішу в досить насиченому ринку необхідно наділити наш продукт якомога унікальнішими властивостями на відміну від товарів прогресивних конкурентів.

Проведемо більш детальний аналіз за допомогою моделі п'яти конкурентних сил Портера (табл. 4.9)

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції за Майклом Портером

Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-субститути
DALI, Flir, Xintest	Висока собівартість комплектуючих	Коливання цін на комплектуючі	Мінливість вподобань	Пірометри
Висновки				
Перевага конкурентів – розкрученість бренду	Є можливість виходу на ринок, якщо товар буде мати значні переваги над конкурентами	Диктують ціну на комплектуючі	Диктують умови, клієнти стають вибагливіші, і постійно вимагають покращення властивостей продукту	Не має обмежень, безконтактне вимірювання має більшість переваг

Отже, галузь можна охарактеризувати як привабливу для діяльності та реалізації задуманого проєкту.

Конкурентоспроможність будь-якого проєкту визначається його факторами конкурентоспроможності, розглянемо їх детально у табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор	Обґрунтування
Компактність	Малогабаритні пристрої можна взяти з собою, вона є більш мобільними
Багатофункціональність	Використання приладів у різних сферах діяльності
Точність вимірювань	Точність виміру показників дає можливість якісно оцінити та проконтролювати процес, отримати точні та правдиві результати
Зручність використання	Пристрої з простим використанням значно спрощують роботу спеціалістів різних профілів, та є зручними для використання у повсякденному житті
Доступність	Співвідношення ціни і якості, отримуєш товар високої якості за прийнятною ціною

Грамотне використання та посилення впливу факторів конкурентоспроможності дасть змогу успішно реалізувати проєкт на сучасному ринку та позмагатися за лідируючі позиції з іншими виробниками.

За визначеними факторами конкурентоспроможності визначимо слабкі та сильні сторони проєкту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Порівняння сильних та слабких сторін автоматизованої тепловізійної системи для виявлення витоків газу на газопроводах VISION

Фактор	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Компактність	19					+		
Багатофункціональність	16						+	
Точність вимірювань	14		+					
Зручність використання	15					+		
Доступність	13					+		

Як бачимо з вищенаведеної таблиці наш проєкт має гарні позиції на ринку серед товарів конкурентів, зокрема, прилад є багатофункціональним, ергономічним, доступним за вартістю. Крім цього, необхідно буде попрацювати над точністю вимірювань, можливо у майбутньому використавши більш дороговартостні комплектуючі, зокрема, датчик прийняття ІЧ- випромінювань.

Враховуючи чинники зовнішнього та внутрішнього середовища, ми можемо визначити сильні та слабкі сторони, можливості та загрози підприємства. Матриця SWOT-аналізу включає з себе сильні сторони, тобто ті характеристики проєкту, що вирізняє його на фоні конкурентів, слабкі сторони – ознаки, що роблять компанію вразливою. Можливості слід використовувати для розвитку проєкту, загрози – ті, чинники, вплив яких може нанести незворотні зміни.

Матриця SWOT-аналізу нашого проєкту наведено у табл. 4.12.

SWOT-аналіз проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Компактність 2. Багатофункціональність 3. Зручність використання та візуалізації результатів 4. Ціна	1. Нерозкручений бренд 2. Брак коштів 3. Незначна клієнтська база 4. Точність приладу
Можливості	Загрози
1. Розвиток технологій 2. Нові споживачі	1. Вхід великих гравців 2. Зниження купівельної спроможності

Отже, використовуючи свої можливості та сильні сторони проекту, ми можемо зменшити негативний вплив зовнішнього середовища, зменшити недоліки у своїй роботі, а також зміцнити свої позиції серед конкурентів.

Відштовхуючись від проведеного SWOT-аналізу проекту визначимо альтернативи поведінки на ринку (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Альтернативи впровадження проекту на ринку

Альтернатива	Можливість отримання ресурсів	Строки реалізації
Додатковий функціонал	85%	6 місяців
Розширення функціоналу та можливостей мобільного додатку	95%	6 місяців

Обрані альтернативи, такі як додатковий функціонал та удосконалення інтерфейсу додатку на смартфон можна впроваджувати паралельно, строки реалізації можуть бути і меншими.

46.4 Ринкова стратегія проєкту

Для успішної реалізації, визначення сценаріїв виходу та присутності на ринку доцільно розробити ринкову стратегію реалізації проєкту, тобто стратегію вибору цільових груп.

Для цього визначимо стратегію охоплення ринку та основних цільових споживачів. Цільовими споживачами можуть бути не тільки зацікавлені в товарі особи, але й особи, що мають можливість його придбати.

Наш проєкт направлений на детектування витоків газу в газопроводах, тому основними споживачами будуть інженери при проектуванні газопроводів, аудитори та звичайні користувачі, що прагнуть визначити вузькі місця в утеплені будівлі (у табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних споживачів	Готовність споживачів прийняти товар	Приблизний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції	Простота виходу на ринок
Промисловий персонал, інженери	Готовий	Високий на внутрішньому ринку	Значна	Через високий попит
Індивідуальне використання	Готовий	Низький	Помірна	Через високий попит

Обраними цільовими групами споживачів виступають спеціалісти, що використовують прилади у своїй роботі, до прикладу в енергоаудиті, на виробництві, крім цього даний пристрій буде мати середній попит і у звичайних споживачів для використання у побуті.

Для подальшої роботи з цільовою групою споживачів визначимо базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Базова стратегія розвитку

Альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Покращення характеристик проєкту шляхом наділення його додатковим функціоналом	Вибірковий розподіл	Багатофункціональність та наявність ІЧ-фільтру	Стратегія диференціації

Базовою стратегією розвитку було обрано стратегію диференціації, тобто орієнтація проєкту буде надання пристрою унікальних властивостей, щоб охопити якомога більшу кількість споживачів. Такими властивостями у нашому випадку буде надання пристрою додаткових функцій. Тобто, якщо звичайні телевізори направлені на отримання термограм, то продукт нашого проєкту ще буде обладнаний ІЧ-фільтром що дозволить візуалізувати витоки газу будь-якої температури.

Наступним кроком є визначення базової стратегії конкурентної поведінки. Те, яке місце буде займати проєкт в майбутньому визначає конкурентна поведінка. На початковому етапі реалізації проєкту було обрано стратегію заняття конкурентної ніші.

Детальніше базова стратегія наведена у табл. 4.16.

Базова стратегія конкурентної поведінки

Чи є проєкт першопроходьцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні, продукт має доповнений функціонал	Буде шукати нових і переманювати існуючих	Ні не буде, увага сконцентрована на унікальності та покращенні існуючих властивостей	Стратегія заняття конкурентної ніші

Стратегією конкурентної поведінки було обрано стратегію заняття конкурентної ніші (стратегія нішера), що базується на постійному розвитку своєї конкурентної переваги та формуванні лояльності до продукту. Відштовхуючись від вимог споживачів до розробника та до продукту проєкту та від обраних базових стратегій розвитку та конкурентної поведінки сформуємо стратегію позиціонування, за якою споживачі зможуть ідентифікувати продукт.

Базова стратегія позиціонування наведена у табл. 4.17

Базова стратегія позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту
Висока якість, багатофункціональність	Позиціонування за споживачем	Наявність ІЧ-фільтру	Компактність, багатофункціональність, мобільність

Стратегія позиціонування базується на диференціації продукту проєкту на тлі інших виробників, з метою залучення більшої кількості споживачів, формування впізнаваності продукту та його запам'ятовуваності, а також посилені своїх позицій на ринку.

46.4. Маркетингова програма проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION»

Основою реалізації будь-якого стартап-проєкту є формування маркетингової програми, що містить основні напрямки та позиції, які могли б дозволити успішно працювати на ринку.

Першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, що отримає кінцевий споживач. Ключові переваги продукту над конкурентами дадуть змогу зайняти міцні позиції на ринку та підвищити лояльність споживачів.

Конкурентні переваги тепловізійної системи наведено у табл. 4.18.

Таблиця 4.18

Ключові переваги концепції потенційного пристрою

Потреба	Вигода товару	Ключові переваги перед конкурентами
Отримати швидкий результат тепловізійного вимірювання	Універсальність	Наявність ІЧ-фільтру та доступність
	Компактність	
	Доступність	
	Достатня точність виміру	

Основною перевагою нашого продукту є наявність ІЧ-фільтру, що дає змогу відображати газу будь-якої температури. Крім цього, пристрій ергономічний, компактний, більш доступний за ціною, ніж товари конкурентів.

Визначивши основні переваги концепції пристрою побудуємо тривірневу модель продукту, де уточнимо основну ідею та особливості пристрою (табл. 4.19).

Три рівні моделі товару

Рівні	Сутність/складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості	М / Нм	Вр / Тх / Тл / Е / Оп
	1. Малогабаритність	М	Тх
	2. Доступність	Нм	Вр
	3. Наявність фільтру	М	Тл
	Якість: пристрій побудований з якісних комплектуючих елементів		
Пакування: крафтова формована коробка			
Марка: VISION			
III. Товар із підкріпленням	До продажу потенційні покупці можуть протестувати та ознайомитись з роботою пристрою біля презентаційного стенду		
	Після продажу покупці отримують тепловізор та зарядний пристрій		

Тож, 100% захищеності від копіювання проєкту в сучасних реаліях майже не можливо досягти, адже у столітті активного розвитку технологій можна досягти найбільшої наближеності до оригіналу тільки різними методами, щодо нашого проєкту, то особливістю головною є ІЧ-фільтр.

Продовженням формування маркетингової програми є встановлення цінових меж. Мінімальна межа цін становить 3000 грн., тоді як максимальна може доходити до пів мільйона гривень. Оберемо оптимальну цінову межу для нашого приладу, відштовхуючись від подібних моделей на ринку (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

Межі встановлення ціни

Рівень цін на товари-субститути	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
3000	15000	36000	9000-20000

Отже, дослідивши цінову політику на подібні продукти на сучасному ринку та купівельну спроможність споживачів, доцільно встановити ціну на пристрій в межах 9000-20000 грн.

Третім етапом маркетингової програми є формування системи збуту. Грамотно побудована система збуту дає можливість реалізувати товар ефективно та використовувати такі канали збуту, що дадуть змогу споживачеві придбати товар як йому буде зручніше.

Система збуту нашого проекту має наступний вигляд (табл. 4.21).

Таблиця 4.21

Система збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Модель поведінки цільових клієнтів «Сприйняття – реакція»	Відправлення товару високої якості через поштові послуги або можливість самовивізу	Широка сфера використання приладу	Кур'єрська доставка товару, продаж товарів у магазинах промислових товарів

Тож, планується розробити сайт для представлення та опису всіх можливостей пристрою та формою оформлення замовлення та доставкою пристрою логістичними перевізниками, наприклад, Нова Пошта, крім цього товар можна продавати у спеціалізованих магазинах, наприклад, Епіцентр або Leroy Merlin.

На сайті покупці можуть купити товар, оформити доставку та вибрати спосіб оплати (готівковий, безготівковий). Відправлення товарів буде здійснюватися через Нову Пошту або самовивізом зі складу.

Також пристрій можна буде придбати у великих будівельних магазинах. Планується розмістити пристрій на окремих брендovаних полицях.

Заключним етапом проведемо розробку маркетингових комунікацій. Маркетингова комунікація направлена на інформування, нагадування та стимулювання продажів продукту проєкту цільовій аудиторії.

Система маркетингових комунікацій по нашому проєкту наведена у табл. 4.22.

Таблиця 4.22

Маркетингові комунікації

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Лояльне відношення	Сайт, соціальні мережі, презентаційні стенди у магазинах, банери	Переваги товару: компактність, багатофункціональність	Інформованість про продукт	Розширення кола клієнтів

Основними каналами комунікації є офіційний сайт, сторінка у соціальних мережах, презентаційні стенди у магазинах та банери.

Офіційний сайт є гарним джерелом інформування потенційних клієнтів про переваги пристрою та акційні пропозиції. Крім цього, на сайт можна загрузити відео-інструкцію по використанню та наглядно продемонструвати роботу приладу на практиці.

Активним та прогресивним джерелом комунікації у наш час є соціальні мережі. Створення сторінок у Facebook та Instagram – перший крок. Наступним буде наповнення сторінок якісним контентом та просування особливих дописів з використанням реклами.

Презентаційні стенди планується встановити в великих будівельних магазинах з великим потоком відвідувачів. Це допоможе яскраво представити продукт потенційним клієнтам, вони можуть власноруч випробувати пристрій

ще до купівлі. Таким чином товар запам'ятеється великому колу людей, що у майбутньому підвищить відсоток ймовірної купівлі саме нашого пристрою, а не продукту конкурента.

Банерну рекламу можна встановити поблизу будівельних магазинів, таким чином посилити пізнаваність продукту та підвищити зацікавленість саме до нашого продукту, ще до відвідин магазину.

Активно буде використовуватися контекстна реклама, що налаштована відображатися у користувачів відповідно до їх пошукових запитів.

Крім цього, сайт та соціальні мережі виступають каналами за якими споживач може реально поспілкуватися з виробниками товарів та отримати відповіді на всі хвилюючі питання.

Використання таких каналів допоможе привернути увагу до нашого пристрою та залучити якомога більшу кількість споживачів.

Висновки до розділу 4

У даному розділі було детально проаналізовано ідею проекту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION». Продукт проекту має ряд переваг над продуктами провідних виробників, що виражається у вартості, наявності ІЧ-фільтру та типом живлення, крім цього пристрій має досить гарні технічні характеристики.

Також у межах розділу було визначено ринкові можливості реалізації проекту, його загрози на шляху реалізації, сильні та слабкі сторони. Не дивлячись на посилену конкуренцію на ринку, є всі шанси здобути першість у своїй ніші, так, наприклад, поява нових технологій дасть можливість покращити технічні характеристики, а поява нових споживачів дасть змогу збільшити клієнтську базу.

Крім цього у розділі було сформовано ринкову стратегію реалізації та створено маркетингову програму, що є міцною базою для виходу проєкту не тільки на національний ринок, але й на міжнародний.

Було визначено коло основних споживачів, до них відносяться спеціалісти у сфері енергоаудиту, спеціалісти у сфері контролю газопроводів, та звичайні користувачі.

Планується реалізовувати тепловізійну систему в онлайн режимі, тобто через офіційний сайт, що буде додатково створюватись, через продаж на полицях будівельних маркетів.

Основними каналами комунікації між виробником та споживачем буде корпоративний сайт, сторінки у соціальних мережах Facebook та Instagram, презентаційні стенди та зовнішня банерна реклама.

Загалом ідея проєкту «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах VISION» є доцільною та має вагомі переваги над конкурентами, зокрема, пристрій компактний, економічно вигідний, якість не поступається ціні.

ВИСНОВКИ

У першому розділі магістерської дисертації проведено дослідження теоретичних основ тепловізійних вимірювань. У розділі було визначено основні сфери застосування тепловізорів, проаналізовано принципи роботи основних типів тепловізорів та особливості їх конструкції, визначено основні аналоги запропонованого приладу та їх основні характеристики. В основу проектування власного приладу були покладені результати дослідження першого розділу.

Зміст другого розділу включає побудову функціональної схеми майбутнього пристрою, яка була покладена в основу подальшого проектування системи. Також було синтезовано оптичну систему в Zemax, що дозволило максимально оптимізувати систему лінз для пристрою. За результатами моделювання було створено оптичну схему тепловізора.

Третій розділ присвячений вибору компонентів пристрою, дослідженню їх основних технічних характеристик та аналізу їх переваг.

У рамках четвертого розділу було розроблено стартап-проект тепловізійної системи, доведено техніко-економічну доцільність концепції, визначено ключові можливості впровадження, розроблено стратегію виходу на ринок та маркетингову програму запуску проекту.

Результати магістерської роботи дозволили розробити систему тепловізора, оптимізувати її характеристики. Розроблена конструкція є досить компактною і простою у виготовленні, у зв'язку з використанням частини готових елементів системи, які можна придбати. Запропонована модель пристрою дозволить отримати ефективну тепловізійну систему, яка буде використовуватися провідними фахівцями в різних сферах діяльності.

Подальшим напрямом розвитку запропонованої конструкції є її спрощення у плані виготовлення і збирання, а також розширення додаткового функціоналу системи, наприклад, такого як повна автономність пристрою,

можливість кріплення тепловізора до дрона, бездротова передача результатів контролю, мобільний застосунок та інше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Озогович А. Методи і засоби вимірювання розподілу температури / А., Огович, О. Панчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – Том 78. – с. 34-41.
2. Неня О.В. Сучасні тепловізори для спеціального та повсякденного застосування / О.В. Неня // Сучасна спеціальна техніка. – 2016. – № 4. – с. 108-120.
3. Ковчавцев А.П. Тепловизор: лучше один раз увидеть. НАУКА из первых рук. – 5 (47). – 2012. – с.34 – 43.
4. Никитин С. Тепловизоры: не все так просто / С. Никитин // Алгоритм безопасности. – 2011. – № 3.
5. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. Посіб. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 206 с.
6. Вознюк С. І. Сфери використання, переваги та види тепловізорів [Електронний ресурс] / С. І. Вознюк // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. Текст. Дані. – 2019.
7. Кононюк А.Е. Основы фундаментальной теория искусственного интеллекта. – В 20-и кн. Кн.3, ч.4. – К.: Освіта України. 2017. – 480 с.
8. Гусев Г.Г. О выборе оборудования для бесконтактного измерения температуры / Г.Г. Гусев // В мире неразрушающего контроля, 2003. – №2. – С. 19-21.
9. Бажанов С.А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1) – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. – Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 5 (77) – 80 с.

10. Бажанов С.А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1) – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. – Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 5 (77) – 80 с.
11. Муравьев А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьев // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.
12. Тымкул, О.В. Аналитическая модель температурно-частотной характеристики тепловизоров [Текст] / О.В. Тымкул, Л.В. Тымкул, В.М. Тымкул // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 10. – С. 73 – 75.
13. Волков В.Г. Тепловизионные приборы нового поколения/ В.Г. Волков, А.В. Ковалев, В.Г. Федчишин//Специальная техника.-2004, - №6.
14. 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.
15. Криксунов Л.З. Тепловизоры / Киев.: Техника, 1987. – 287 с. 70
16. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, А. В. Муравьев, О. К. Кучеренко // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – вип. №4. – С. 42-47.
17. Муравьев А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьев, Е.А. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.
18. Муравьев А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьев // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.

19. Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.

20. 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.

21. Муравьев А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А.В. Муравьев, О.К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.

22. 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. – vol. 81 (4). – 2014. – pp. 199-203.

23. Муравьев А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьев // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: 71 матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

24. Кучеренко О.К. Вплив температури на абераційні властивості ІЧ об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 99-105.

25. Сторожик Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // Наукові вісті КПІ. – 2020. – № 2. – С. 82-87.

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

27. Кучеренко О.К. Вплив температури на абераційні властивості об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // Наукові вісті НТУУ «КПШ». – 2013. – № 1. – С. 99-105.

28. Protasov A. Reconstruction of the thermal field image from measurements in separate points / A. Protasov // 5th IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2017; National Aviation University (NAU) Kyiv; Ukraine. – 2017. – С. 89-92.

29. Кучеренко О.К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев // Вісник НТУУ «КПШ», серія Приладобудування. – 2012. – вип. № 43. – С. 46–53.

30. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.

31. Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечна // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53.

32. Живкович А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьев // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований – 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысль, Польша. – Przemysł : Nauka i studia, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.

33. 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 // *Devices and Methods of Measurements*. – 2020. – 11(4), PP. 272-278. Doi:10.21122/2220-9506-2020-11-4-272-278.

34. Галаган Р.М. Тестування нейромережевих модулів системи теплової дефектометрії за допомогою імітаційного моделювання / [Р. М. Галаган, А. С. Момот, А. Г. Протасов та ін.]. // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. – 2022. – №6. – С. 49–55.

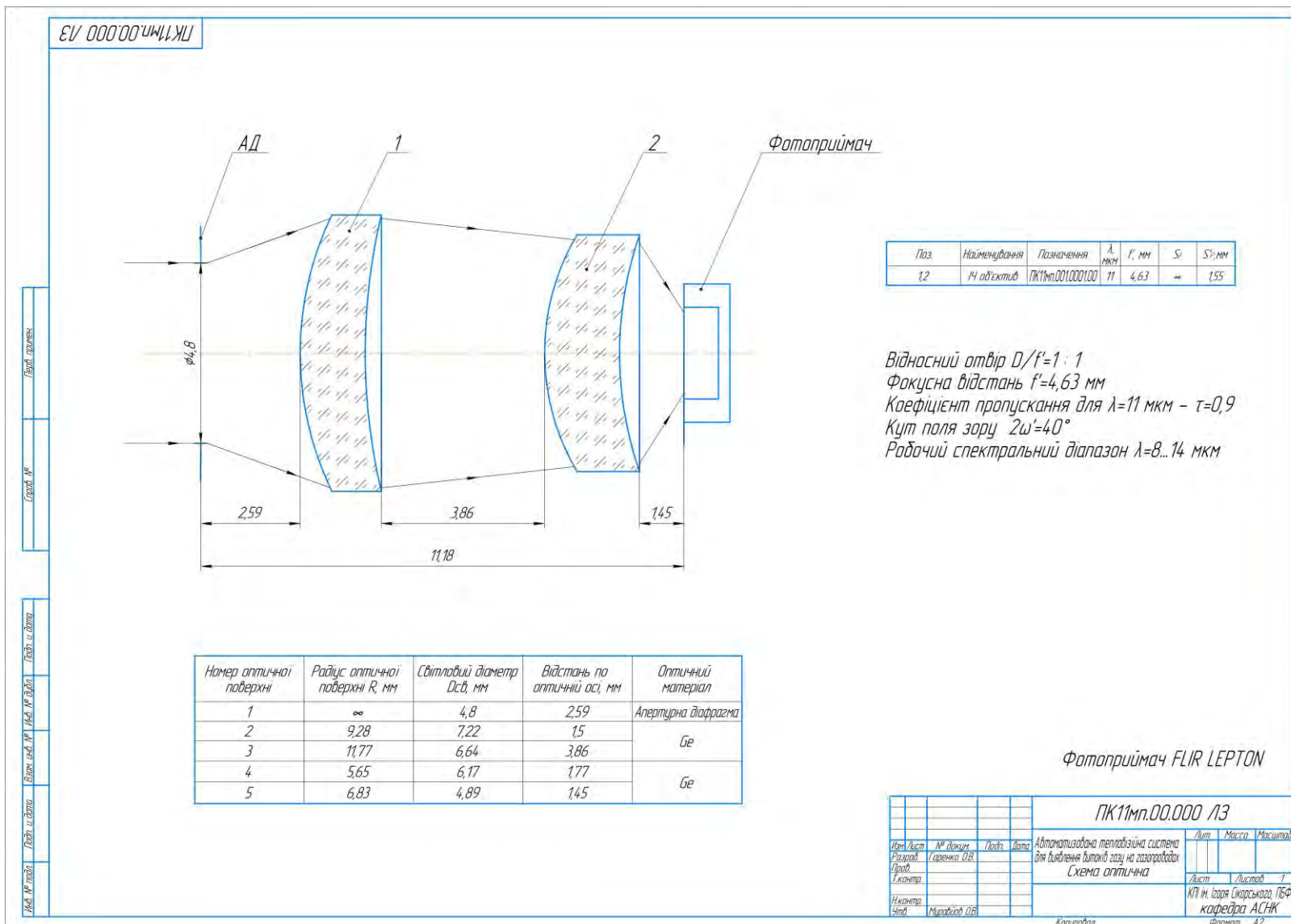
35. Momot A. Deep Learning Automated System for Thermal Defectometry of Multilayer Materials / A. Momot, R. Galagan, V. Gluhovskii. // *Devices and Methods of Measurements*. – 2021. – №12. – pp. 98–107.

36. Momot A. The use of EfficientNet models in infrared image classification / A. Momot, I. Skladchykov // *XXI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна : збірник матеріалів конференції*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 204-207.

37. Галаган Р.М. Statistical analysis of thermal nondestructive testing data / Р.М. Галаган, А.С. Момот // *Сучасні інформаційні системи*. – Харків. – 2019. – Том. 3, № 1. – С. 58-63.

38. Momot A. Deep learning automated data analysis of security infrared cameras / A. Momot, I. Skladchykov // *Slovak international scientific journal*. – 2021. – №52. – pp. 13–16.

Схема оптичної системи «Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах»



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Магістерська дисертація
на тему:

Автоматизована тепловізійна система для виявлення витоків газу на газопроводах

Виконав: студент II курсу, групи ПК – 11мп

Гаренко Олексій

Науковий керівник: старший викладач, к.т.н.

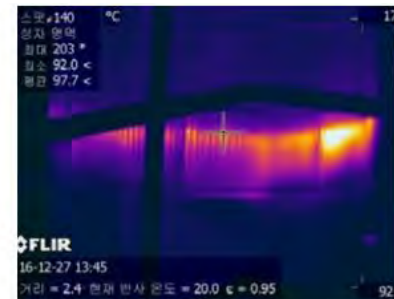
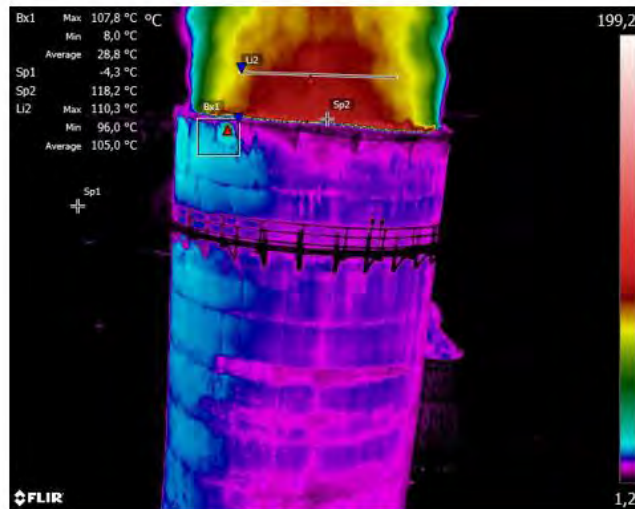
Муравйов Олександр

Мета магістерської дисертації

Розробка автоматизованої тепловізійної системи, що може використовуватись на виробництві або на підприємствах важкої промисловості для виявлення витоків газу на газопроводах.



Приклади роботи тепловізійної системи для пошуку витоків газу



Функціональна схема тепловізійної системи

ПВ – Приймач випромінювання

А – Акумулятор

ПЗ – Плата зарядки

САМ – Камера

Д – Дисплей

АПП – Апаратно програмна платформа

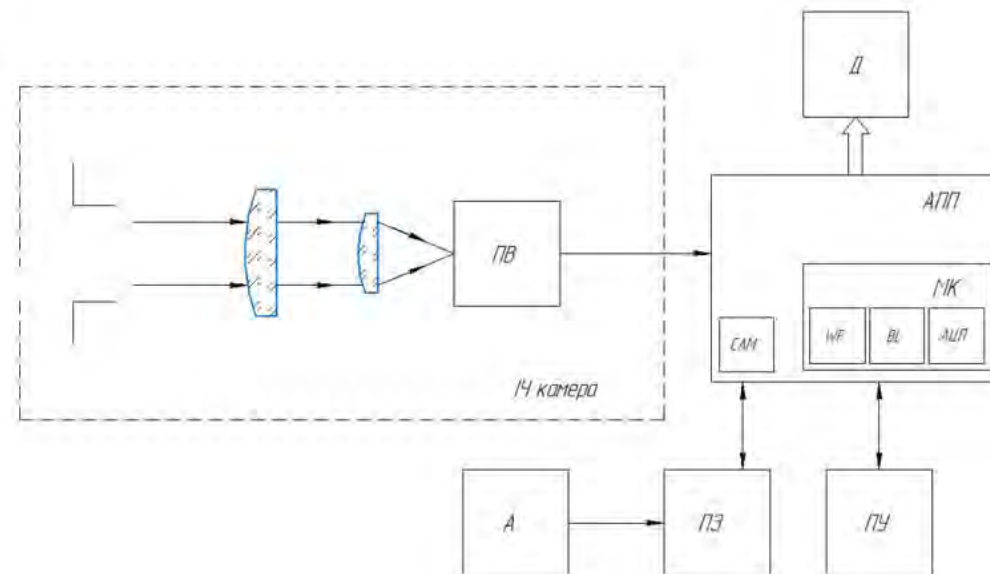
МК – Мікроконтролер

WF – Wifi-модуль

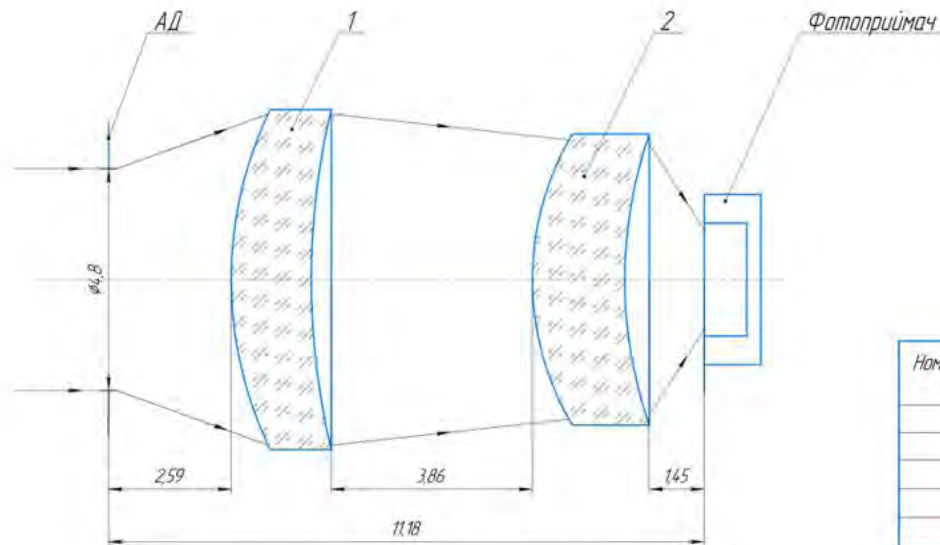
BL – Bluetooth-модуль

АЦП – Аналогова цифровий перетворювач

ПУ – Пульт управління



Оптична схема тепловізійної системи

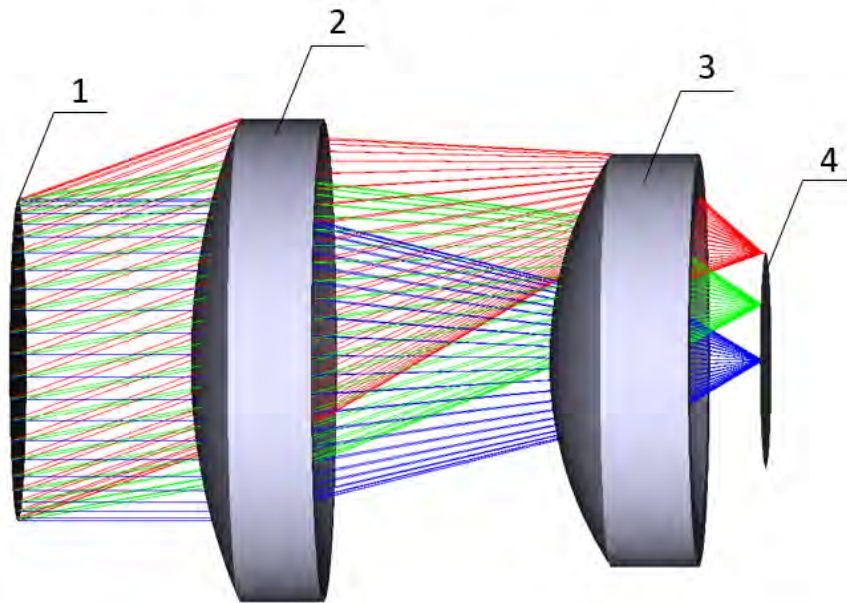


Поз.	Найменування	Позначення	λ , мкм	f , мм	S_f	S_f' , мм
12	14 об'єктив	ПЖ14м001000100	11	4,63	∞	1,55

Відносний отвір $D/f=1:1$
 Фокусна відстань $f=4,63$ мм
 Коефіцієнт пропускання для $\lambda=11$ мкм - $\tau=0,9$
 Кут поля зору $2\omega'=40^\circ$
 Робочий спектральний діапазон $\lambda=8...14$ мкм

Номер оптичної поверхні	Радіус оптичної поверхні R, мм	Світловий діаметр Dсв, мм	Відстань по оптичній осі, мм	Оптичний матеріал
1	∞	4,8	2,59	Апертурна діафрагма
2	9,28	7,22	15	Ge
3	11,77	6,64	3,86	
4	5,65	6,17	1,77	Ge
5	6,83	4,89	1,45	

Тіньова тривимірний модель тепловізійної системи



- 1 – Апертурна діафрагма
- 2 – Перша фокусуюча лінза
- 3 – Друга фокусуюча лінза
- 4 – Приймач випромінювання

Характеристики системи	
Спектральний діапазон	8 ... 14 <u>мкм</u>
Кут поля зору	$2\omega = 40^\circ$
Фокусна відстань	4.63 мм
Відносний отвір	1:1

Комплектуючі тепловізійної системи



Програмно апаратна платформа
ESP32-CAM



Дисплей
2.8" 240x320 TFT LCD SPI



Матрична тепловізійна камера
FLIR Lepton

Комплектуючі тепловізійної системи



Плата зарядки
HT4928S



Літій-іонний акумулятор
NCR18650B

Дякую за увагу!