

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

«На правах рукопису»
УДК 681.5

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 двоканальна система для виявлення витоків
на газопроводах із застосуванням БПЛА»**

Виконав:
студент II курсу, групи ПК-21мп
Ісадченко Богдан Олександрович

Науковий керівник:
доцент, к.т.н.
Муравйов Олександр Володимирович

Завідувач кафедри економічної кібернетики:
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 – 2024 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

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ісадченко Богдану Олександровичу

1. Тема дисертації «Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., доцент кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 4110-с.
2. Термін подання студентом дисертації «11» січня 2024 року.
3. Об'єкт дослідження: процес виявлення витоків газу на газопроводах за допомогою двоканальної системи, розташованої на БПЛА.
4. Вихідні дані: вибірка термограм та фотографій; точність вимірювання температурних показників $\pm 1^{\circ}\text{C}$; спектральні діапазони роботи каналів оптичної системи: 0,36-0,76 мкм та 8-12 мкм.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналітичний огляд існуючих методів виявлення витоків газу; проектування та розробка двоканальної системи для виявлення витоків на газопроводах; підбір основних

комплектуючих для системи; розробка стартап-проекту системи та визначення перспектив впровадження.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурна схема двоканальної системи; оптична схема системи; розробка оптичної системи; підбір комплектуючих для системи.

7. Орієнтований 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.		

1. Дата видачі завдання 1 вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел та оцінка наявних систем.	3 тижні	
2.	Розробка структурної схеми	2 тиждень	
3.	Розробка телевізійного та тепловізійного каналів	2 тиждень	
4.	Створення програмного забезпечення.	4 тиждень	
5.	Виконання розділу «Розробка стартап проекту»	3 тижні	
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	3 тижні	

Студент

Богдан ІСАДЧЕНКО

Науковий керівник

Олександр МУРАВЙОВ

АНОТАЦІЯ

Сучасна газотранспортна та нафтогазова промисловість стикається з постійними викликами у забезпеченні надійності і безпеки газових і нафтових трубопроводів. Витоки газу можуть призвести до небезпеки для життя та здоров'я людей, забруднення довкілля та економічних втрат.

Магістерська дисертація розглядає процес розробки та впровадження автоматизованої двоканальної системи, яка поєднує телевізійне та інфрачервоне спостереження з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виявлення витоків газу.

Дослідження включає в себе теоретичний аналіз методів контролю та визначення параметрів системи, підбір необхідного обладнання, розробку програмного забезпечення для обробки та аналізу даних, а також тестування системи.

Результати дослідження показують, що розроблена система ефективно виявляє витoki газу, забезпечуючи надійний моніторинг газових і нафтових трубопроводів. Використання БПЛА дозволяє проводити моніторинг у важкодоступних та віддалених районах, що робить систему універсальною та ефективною для різних умов і галузей.

Ця дисертація внесе важливий внесок у розвиток систем безпеки газових та нафтових трубопроводів і може бути використана в газотранспортній промисловості, екологічних організаціях, міському контролі та інших галузях, де надійний моніторинг є критично важливим.

ABSTRACT

The modern gas and oil industry faces ongoing challenges in ensuring the reliability and safety of gas and oil pipelines. Gas leaks can pose risks to human life, environmental contamination, and economic losses.

This Master's dissertation explores the process of developing and implementing an automated dual-channel system that combines optical and infrared observation with the use of unmanned aerial vehicles (UAV) for the detection of gas leaks.

The research encompasses a theoretical analysis of control methods and system parameter determination, equipment selection, the development of software for data processing and analysis, as well as the deployment of the system under real-world conditions.

The research findings demonstrate that the developed system effectively detects gas leaks, providing reliable monitoring of gas and oil pipelines. The use of UAVs allows for monitoring in remote and hard-to-reach areas, making the system versatile and suitable for various conditions and industries.

This dissertation contributes significantly to the advancement of gas and oil pipeline safety systems and can be applied in the gas transportation industry, environmental organizations, urban monitoring, and other sectors where reliable monitoring is critically important.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Основна частина	10
1.1 Проблематика виявлення витоків газу.....	10
1.2 Основні аспекти системи.....	12
1.3 Основи теплового випромінювання.....	15
1.4 Типи тепловізорів та їх схеми.....	17
1.5 Аналіз об'єкту контролю	21
1.6 Методи контролю.....	23
1.7 Мета дослідження	25
1.8 Аналіз даних	27
1.9 Безпосереднє використання системи	30
Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2. Проектування системи та опис її функціонування.....	34
2.1 Структурна схема двоканальної системи	34
2.2 Розробка інфрачервоного каналу	35
2.3 Розробка телевізійного каналу	41
Висновки до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3. Розробка програмного забезпечення та підбір комплектуючих для тепловізійної системи	48
3.1 Вибір мови програмування та середовища розробки	48
3.2 Написання коду	49
3.3 Підбір комплектуючих	58
3.3.1 БПЛА.....	58
3.3.2 Інфрачервоний та телевізійний об'єктиви	59
3.3.3 Мультиплексор.....	63
3.3.4 Регістр зсуву	65
3.3.5 Аналогово-цифровий перетворювач.....	66
3.3.6 Мікроконтролер	67

Висновки до розділу 3	68
РОЗДІЛ 4. Розробка стартап проекту	70
4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту	70
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту	75
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту	85
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	88
4.5 Організації реалізації стартап-проекту	91
Висновки до розділу 4	94
ВИСНОВКИ.....	95
Список використаної літератури	97
Додатки.....	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІЧ – інфрачервоний;

ТВ – телевізійний;

ОК – об'єкт контролю;

ПЗ – програмне забезпечення;

ОС – оптична система;

АПП – апаратно-програмна платформа;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

MCU – мікроконтролер;

MUX – мультиплексор.

ВСТУП

Завантаженням мережі газопроводів продовжує зростати, і, разом з цим, зростає і необхідність в надійному та швидкому виявленні витоків газу. Витоки газу можуть бути небезпечними, та їх вчасне виявлення є важливим завданням для забезпечення безпеки газотранспортних систем. Традиційні методи контролю можуть бути неефективними та працезатратними.

Однак, завдяки швидкому розвитку технологій, автоматизовані системи для виявлення витоків газу стають дедалі більш актуальними. У цьому контексті, використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може бути інноваційним рішенням для виявлення витоків газу на газопроводах. Комбінація оптичного та інфрачервоного спостереження може забезпечити точні та надійні результати, що дозволить операторам вчасно реагувати на потенційно небезпечні ситуації.

Метою досліджень є розробка та впровадження автоматизованої двоканальної системи для виявлення витоків газу на газопроводах, використовуючи телевізійне і інфрачервоне спостереження з використанням БПЛА. Ця система має на меті підвищити точність та ефективність контролю газових магістралей, а також зменшити ризик виникнення небезпечних ситуацій та аварій.

Предметом дослідження є вдосконалення оптичного методу виявлення витоків на газопроводах за допомогою автоматизованої двоканальної системи, що використовує телевізійне та інфрачервоне спостереження, із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ця система розробляється з метою підвищення ефективності та точності контролю газових магістралей, а також зменшення ризику виникнення потенційно небезпечних ситуацій та аварій. У контексті постійного зростання завантаження газопровідних мереж та викликів, пов'язаних із забезпеченням безпеки, розробка та впровадження автоматизованої системи для виявлення

витоків газу є невідкладною задачею, що потребує інноваційних підходів та технологічних рішень.

Дослідження передбачає аналіз існуючих методів контролю газопроводів, розробку апаратного та програмного забезпечення для системи БПЛА, а також проведення лабораторних експериментів та тестування прототипу на реальних газопроводах. Результати цього дослідження стануть важливим внеском у покращення безпеки газових систем та оптимізацію процесів виявлення витоків газу.

Це дослідження передбачає з'ясування та аналіз сучасних методів контролю газопроводів, а також вивчення інноваційних рішень у сфері неруйнівного контролю. Робота включає розробку та аналіз характеристик обладнання для телевізійного та інфрачервоного спостереження на БПЛА. Для забезпечення надійності та ефективності системи, будуть проведені тестові експерименти та калібрування на спеціально обраній ділянці газопроводу.

Усі отримані дані та результати будуть об'єктивно проаналізовані для визначення можливостей виявлення витоків газу та ідентифікації можливих ризиків. Засоби обробки даних та алгоритми аналізу графічного матеріалу також будуть розроблені та оптимізовані в ході виконання даної роботи.

Результати цього дослідження не тільки сприятимуть подальшому розвитку автоматизованих систем для виявлення витоків газу, але і внесуть вагомий внесок у забезпечення безпеки газотранспортної системи та допоможуть у запобіганні можливих аварій та загроз життю та довкіллю.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Проблематика виявлення витоків газу

Сучасна промисловість, незалежно від її галузі, активно використовує різноманітні гази, що може викликати серйозні наслідки у випадку їх витоку. Проблематика виявлення цих витоків полягає в низці аспектів, оскільки їхні наслідки можуть бути значущими [1, 2, 3].

1. Загроза для безпеки та здоров'я. Витоки газу можуть створювати небезпеку для життя та здоров'я людей, породжуючи потенційні ризики отруєння чи можливість пожежі та вибуху.

2. Екологічні проблеми. Неверифіковані витоки газу призводять до забруднення навколишнього середовища та можуть спричинити погіршення якості повітря та води.

3. Погіршення кліматичних умов. Витоки газу сприяють парниковому ефекту, що може впливати на зміни клімату та призводити до негативних екологічних наслідків.

4. Економічні збитки. Витоки газу призводять до значних економічних втрат для промислових підприємств через втрату сировини та необхідність проведення ремонтних робіт.

У зусиллях забезпечити безпеку та уникнути подібних проблем, на сьогодні використовуються кілька методів, які відрізняються якістю та складністю їхньої реалізації. Обговоримо деякі з них.

1. Обмилювання місць витоку. Метод, який дозволяє точно визначити місце витоку, але може викликати корозію металів та не є ефективним у деяких умовах.

2. Встановлення газоаналізатора. Метод, який надає інформацію про концентрацію певного газу, але не завжди точно визначає місце витоку.

3. Акустичні та оптичні детектори. Методи, які можуть бути ефективними, але мають обмежену дію на відстань та можуть вимагати інтерпретації даних фахівцем.

Невід'ємним аспектом вирішення цієї проблематики є розробка та впровадження надійних та ефективних методів виявлення витоків газу, які б враховували всі аспекти безпеки, екології та економіки.

Виклики та їх наслідки. Виявлення витоків газу є непростою задачею через різноманітність газів, умови їхнього розподілу та невизначеність в місцях витоку. Забруднене повітря, важкі умови навколишнього середовища та недоступність деяких територій ускладнюють цей процес.

1. Ефективність даних методів. Деякі існуючі методи, такі як обмілювання та газоаналізатори, можуть бути недостатньо ефективними у виявленні витоків на значній відстані чи в умовах низьких температур.

2. Точність та надійність. Важливість точності виявлення полягає у здатності визначити конкретні місця витоку та надати надійні дані, щоб уникнути помилкових або неповних інформаційних звітів.

3. Складність умов. Умови роботи, такі як екстремальна температура чи погодні умови, можуть ускладнити процес виявлення витоків та вимагати високого рівня стійкості обладнання.

4. Швидкість реакції. Швидкість реакції на виявлення важлива, оскільки витік газу може швидко розповсюджуватися та мати серйозні наслідки.

5. Комплексність систем. Необхідність впровадження комплексних систем, які поєднують кілька методів виявлення, щоб забезпечити повноту та точність результатів.

Важливість новаторських підходів. Розвиток автоматизованих двоканальних систем із застосуванням оптичних та інфрачервоних технологій та безпілотних літальних апаратів стає кроком уперед у вирішенні вищезазначених викликів.

1. Точність та Зонованість. Система, яка комбінує два канали (оптичний і інфрачервоний), дозволяє точно визначити місце витоків та зону розповсюдження газу.

2. Виявлення різноманітних газів. Використання оптичних технологій дозволяє виявляти різноманітні типи газів, що забезпечує універсальність та широкий спектр застосування.

3. Безпілотні літальні апарати. Застосування БПЛА дозволяє охоплювати великі території та отримувати дані в реальному часі, підвищуючи швидкість реакції на виявлення витоків.

4. Інтеграція інтелектуального аналізу. Можливість інтеграції інтелектуального аналізу даних полегшує розпізнавання та класифікацію витоків, забезпечуючи більш точні результати.

Автоматизовані двоканальні системи, враховуючи новаторські підходи, можуть вирішувати складні завдання виявлення витоків газу та надавати оперативні та надійні результати.

1.2 Основні аспекти системи

У цьому розділі обговорюється теоретичні аспекти, пов'язані з темою дослідження – розробкою автоматизованої двоканальної системи виявлення витоків газу за допомогою оптичного та інфрачервоного спостереження за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [4, 5].

1. Проблема безпеки транспортування газу. Забезпечення безпеки газотранспортних систем є актуальним завданням сучасного суспільства. Зі збільшенням кількості та розмірів газопроводів важливо своєчасно виявляти витоків газу, щоб запобігти серйозним аваріям, забрудненню навколишнього середовища та загрози життю людей. Основна мета – забезпечення надійності та своєчасності роботи системи виявлення витоків газу.

2. Методи неруйнівного контролю. Існує кілька методів неруйнівного контролю, які можна використовувати для виявлення витоків газу в контексті дослідження. Ці методи включають:

- оптичний контроль: використання оптичних технологій для вимірювання концентрації газу в повітрі та виявлення змін у складі атмосфери. Цей метод дозволяє виявити великі витоків газу, але може бути неефективним для невеликих витоків;

- інфрачервоний контроль: використання інфрачервоного випромінювання для виявлення змін температури навколишнього середовища, які можуть бути пов'язані з витоків газу. Цей метод може бути ефективним для виявлення навіть невеликих витоків.

3. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) у системах виявлення витоків газу. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у системах виявлення витоків газу дає кілька переваг. БПЛА можуть працювати у важкодоступних районах і здійснювати регулярні обльоти трубопроводів, дозволяючи комплексно перевіряти газотранспортну систему та виявляти витоків на ранній стадії.

4. Обладнання оптичного та інфрачервоного контролю. Для використання оптичного та інфрачервоного контролю на БПЛА необхідне спеціальне обладнання, включаючи камери та датчики, які можуть реєструвати випромінювання у відповідному діапазоні. Відповідний вибір і налаштування обладнання відіграють важливу роль у точності та надійності системи.

5. Аналіз інноваційних рішень. Існують різні інноваційні рішення для автоматизованого виявлення витоків газу. Одним із таких рішень є використання алгоритмів штучного інтелекту (наприклад, нейронних мереж) для аналізу даних, отриманих від БПЛА. Ці алгоритми можуть навчитися розпізнавати характерні зміни у зображеннях, які вказують на наявність витоків газу.

6. Вимоги до системи. Ефективна система для виявлення витоків газу повинна відповідати деяким вимогам, включаючи:

- Висока точність. Система має бути здатною точно виявляти навіть невеликі витoki газу.
- Швидка реакція. Вимога до оперативної реакції на виявлення витoku газу з метою зменшення можливих наслідків.
- Стійкість до впливу погодних умов: Система повинна працювати навіть при поганих погодних умовах.
- Автономність: Забезпечення безперервної роботи системи без значного втручання оператора.

7. Інтеграція з існуючими системами. Ефективна система для виявлення витоків газу має бути інтегрованою з існуючими системами моніторингу та безпеки на газотранспортних об'єктах. Це передбачає можливість обміну даними та координації з іншими системами для оперативного реагування на виявлені витoki.

8. Оптимізація використання БПЛА. Для успішної реалізації системи, важливо оптимізувати використання БПЛА. Це включає в себе вибір оптимальних шляхів польоту, розробку програмного забезпечення для автоматичної навігації та координації дій між БПЛА.

Розділ "Теоретичні відомості" надає поглиблений огляд основних аспектів, пов'язаних із розробкою автоматизованої двоканальної системи для виявлення витоків газу на газопроводах з використанням оптичного та інфрачервоного спостереження за допомогою БПЛА. Ці теоретичні відомості стануть основою для подальших кроків у розробці та практичному впровадженні системи.

1.3 Основи теплового випромінювання

Теплове випромінювання тіл базується на принципах, сформульованих законами фізики, такими як закон Стефана-Больцмана, закон Кірхгофа і гіпотеза Макса Планка. Ці закони дозволяють математично описати інтенсивність випромінювання об'єкта в залежності від його температури та інших фізичних властивостей [6].

1. Закон Стефана-Больцмана. Закон Стефана-Больцмана виражає інтенсивність випромінювання (Q) чорного тіла, якщо знаємо його температуру (T). Формула закону виглядає наступним чином (1.1):

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

де Q - інтенсивність випромінювання;

σ -константа Стефана-Больцмана ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Вт/м}^2/\text{К}^4$);

T - абсолютна температура об'єкта в Кельвінах.

2. Закон Кірхгофа. Закон Кірхгофа встановлює зв'язок між поглибленням (A), випромінюванням (E), та випромінювальною здатністю (ϵ) тіла при даній температурі (T). Виражається рівнянням (1.2):

$$\frac{E(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} = \epsilon(\lambda, T) \quad (1.2)$$

де $E(\lambda, T)$ - енергія випромінювання;

$A(\lambda, T)$ - поглиблення енергії;

$\epsilon(\lambda, T)$ - випромінювальна здатність тіла $\epsilon(\lambda, T)$ - випромінювальна здатність тіла.

3. Функція Планка для енергії випромінювання. Гіпотеза Макса Планка вводить функцію щільності потоку енергії від довжини хвилі (λ) та температури (T) (1.3):

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \quad (1.3)$$

де c - швидкість світла у вакуумі;

h - константа Планка;

k - константа Больцмана.

Ці формули дозволяють математично моделювати та розуміти теплове випромінювання об'єктів в різних умовах, враховуючи їхні температури та властивості.

4. Закон Віна. Закон Віна встановлює зв'язок між температурою абсолютно темного тіла і довжиною хвилі, на якій спостерігається максимум інтенсивності випромінювання. Формула закону виглядає наступним чином (1.4):

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

де λ_{\max} - довжина хвилі максимального випромінювання;

b - константа Віна ($2.89 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$).

Основи тепловізійного випромінювання:

В контексті тепловізії, теплове випромінювання може використовуватися для визначення температурних характеристик об'єктів. З врахуванням фізичних принципів випромінювання, теплові камери можуть перетворювати інфрачервоне випромінювання на теплову карту, де кольори відображають різниці в температурі поверхонь.

Важливість точної та швидкої локалізації витоків газу. Знання принципів теплового випромінювання важливе для розробки систем виявлення витоків газу. Точність і швидкість локалізації витоків газу забезпечують негайне реагування на потенційно небезпечні ситуації, дозволяючи уникнути негативних наслідків, таких як загрози для здоров'я, пожежі та екологічні проблеми.

1.4 Типи тепловізорів та їх схеми

Тепловізори, також відомі як теплові камери або інфрачервоні камери, є важливими інструментами в багатьох галузях, включаючи промисловість, медицину, безпеку та науку. Вони використовують принципи теплового випромінювання для візуалізації температурних різниць між об'єктами та навколишнім середовищем [7, 8].

Класифікація тепловізорів.

1. За діапазоном інфрачервоного випромінювання:

1.1 дальній інфрачервоний (DLIR). Вимірює теплове випромінювання від 3 мікрон до 30 мікрон;

1.2 середній інфрачервоний (MLIR). Охоплює діапазон від 3 мікрон до 8 мікрон;

1.3 короткий інфрачервоний (SLIR). Вимірює випромінювання від 1 мікрона до 3 мікрон.

2. За типом матриці:

2.1 Неохолоджувані (Uncooled): Використовують матеріали, які не вимагають охолодження, менше чутливі, але менш дорогі;

2.2 Охолоджувані (Cooled): Використовують системи охолодження для підвищення чутливості, зазвичай дорожчі та важчі.

Принцип роботи тепловізорів. Тепловізори сприймають інфрачервоне випромінювання об'єктів і перетворюють його в теплову карту. Основні етапи принципу роботи:

1. збір інфрачервоного випромінювання. Оптична система фокусує випромінювання на детектор, який може бути охолоджуваним або неохолоджуваним;

2. призначення температур. Детектор перетворює інфрачервоне випромінювання на електричний сигнал. Чим вища температура об'єкта, тим сильніший сигнал;

3. створення теплової карти. Сигнали подаються на оброблювач, який створює теплову карту, де кольори асоціюються з температурними значеннями.

Поглиблене вивчення тепловізійних систем включає аналіз їхньої класифікації за способом отримання зображення та принципами роботи. Розглянемо різноманітні підходи до класифікації тепловізорів залежно від методів отримання теплового зображення та принципів його формування.

Класифікація за способом отримання теплового зображення.

1. Теплочутливі елементи (Thermal Imaging Sensors):

- Больоетричні тепловізори: Використовують зміни в температурі для створення зображення. Больоетричні сенсори реагують на інфрачервоне випромінювання.
- Піроетричні тепловізори: Оцінюють температуру об'єктів на основі інтенсивності інфрачервоного випромінювання.

2. Механічні (Staring) та Скануючі (Scanning) системи:

- Стробоскопічні тепловізори: Використовують механічний сканер для збору даних.
- Скануючі тепловізори: Використовують електронічний сканер для отримання теплового зображення.

Класифікація за принципом отримання зображення.

1. Скануючі (Scanning) тепловізори:

- Використовують сканування для поетапного отримання інформації з області дослідження.
- Забезпечують високу деталізацію, але можуть вимагати більше часу для формування повного зображення.

2. Матричні (Focal Plane Array) тепловізори:

- Використовують масив датчиків для одночасного отримання даних з усієї області.
- Забезпечують швидше та більш ефективно отримання зображення.

Скануючі тепловізори. Скануючі тепловізори використовують електронічний сканер для зчитування інфрачервоного випромінювання. Основна перевага цих систем полягає в здатності одночасно отримувати дані з усієї області дослідження. Проте це може вимагати більше часу для отримання повного зображення, і вони можуть бути вразливі до рухливих об'єктів.

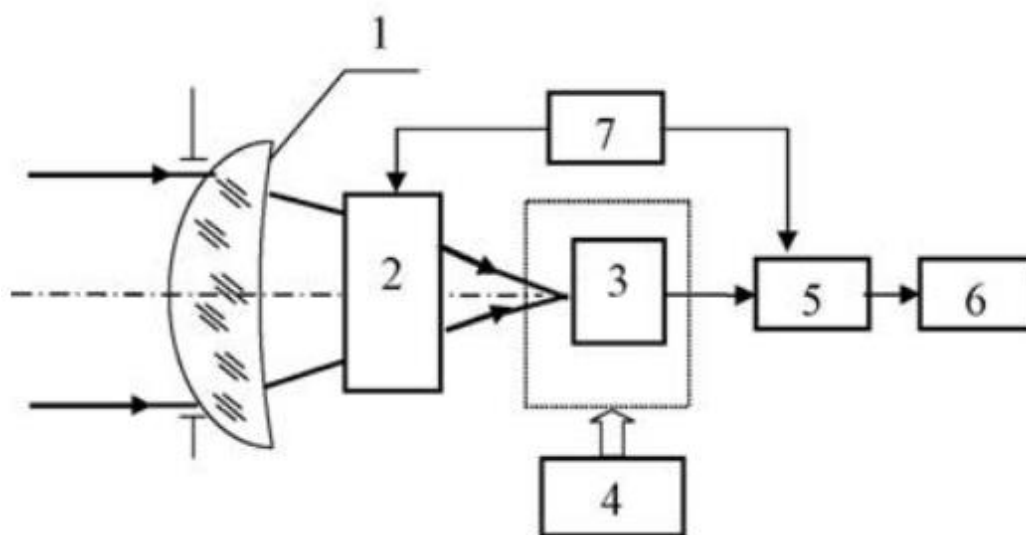


Рис. 1. Загальна функціональна схема скануючого тепловізора

На рис. 1 зображено загальну функціональну схему скануючого тепловізора:

1. Оптична система. Збирає інфрачервоне випромінювання з об'єкта та направляє його на блок оптико-механічного сканування.
2. Блок оптико-механічного сканування. Здійснює сканування інфрачервоного випромінювання залежно від потреб системи.
3. Приймач випромінювання. Отримує скановані сигнали від об'єкта.
4. Система охолодження. Забезпечує необхідний рівень температури для ефективної роботи системи сканування.
5. Електронний тракт. Перетворює отримані сигнали у форму, придатну для подальшої обробки.
6. Відеоконтрольний пристрій. Відображає теплове зображення для спостерігача.

7. Система синхронізації. Забезпечує взаємодію всіх компонентів системи у синхронізованому режимі.

Ця схема наглядно демонструє основні компоненти скануючого тепловізора та їх взаємодію для формування теплового зображення.

Матричні тепловізори. Матричні тепловізори використовують масив датчиків (Focal Plane Array), дозволяючи одночасно отримувати дані з усієї області зображення. Це забезпечує швидку і ефективне збір інформації про теплове випромінювання об'єктів.

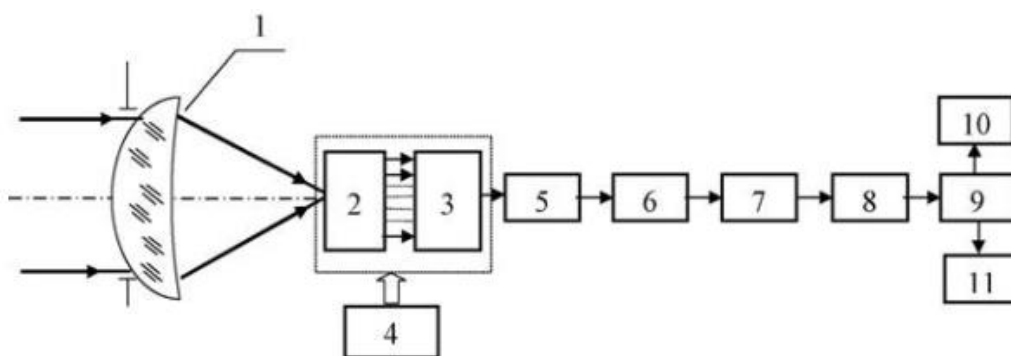


Рис. 2. Загальна функціональна схема тепловізора з фокальною матрицею

На рис. 2 зображено загальну функціональну схему тепловізора із фокусною матрицею:

1. Оптична система. Збирає інфрачервоне випромінювання з об'єкта та направляє його на фокусну матрицю.

2. Фокусна матриця з передусилителями. Масив датчиків, що одночасно отримує дані з усієї області. Передусилителі підсилюють сигнал.

3. Мультиплексор. Об'єднує сигнали від окремих датчиків у єдиний сигнал для подальшої обробки.

4. Система охолодження. Забезпечує необхідний рівень температури для ефективної роботи фокусної матриці.

5. Корректор неоднорідностей характеристик чутливих елементів. Вирівнює нерівності у відповідях різних елементів матриці.

6. Аналого-цифровий преобразователь. Перетворює аналоговий сигнал у цифровий для подальшої обробки.

7. Цифровий коректор неоднорідностей. Використовується для додаткової корекції нерівностей у цифровому вигляді.

8. Коректор неробочих елементів. Ідентифікує та коригує неробочі елементи матриці.

9. Формувач зображення. Оброблює та формує теплове зображення з отриманих даних.

10. Дисплей. Виводить сформоване теплове зображення для спостереження оператора.

11. Цифровий вихід. Надає цифровий сигнал для збереження чи подальшого аналізу.

Ця схема ілюструє ключові компоненти тепловізора з фокусною матрицею та їхню взаємодію для отримання теплового зображення.

1.5 Аналіз об'єкту контролю

Тут досліджується те, що саме потрібно контролювати - газопроводи, через які транспортується природний газ, і які можуть мати значну довжину. Вони можуть бути розташовані в різних географічних областях, включаючи важкодоступні місця. Головне, що нам цікаво - це виявлення витоків газу на цих газопроводах [9].

Що стосується самих газопроводів, то важливо розуміти, що вони піддаються різним ризикам. Можуть виникнути витoki газу через корозію, механічні пошкодження, зміни тиску і так далі. І це потенційно небезпечно.

Якщо витік газу залишається невиявленим, це може призвести до серйозних проблем. Газ є небезпечним для здоров'я людини і довкілля, і може створити загрозу життю через отруєння або вибухи. Окрім цього, витoki газу можуть завдати значних екологічних шкідливих наслідків та викликати економічні збитки.

Тому важливо мати систему, яка допоможе вчасно виявляти витіки газу, особливо ті, які могли б залишитися непоміченими традиційними методами контролю. Ця система, яка розглядається, використовує оптичне та інфрачервоне спостереження з БПЛА, і може значно покращити безпеку газотранспортних систем [10].

1. Характеристика газопроводів. Газопроводи – це системи трубопроводів, призначені для транспортування природного газу або інших газоподібних середовищ. Вони складаються з труб, з'єднаних між собою, і розгалужень для регулювання напрямку потоку газу. Газопроводи можуть мати значну довжину та пролягати як під землею, так і над землею.

2. Специфіка об'єкта контролю. Об'єктом контролю є газопроводи з усією їхньою інфраструктурою. Специфіка об'єкта контролю включає в себе:

- Великі довжини: Багато газопроводів мають значну довжину, що ускладнює процес виявлення витоків на великій території.
- Розподілені регіони: Газопроводи можуть пролягати через різні географічні регіони, включаючи важкодоступні та віддалені місця.
- Можливість витоків газу: Витоки газу можуть виникнути внаслідок різних факторів, включаючи корозію, механічні пошкодження, зміни тиску тощо.

3. Ризики та наслідки витоків газу. Витоки газу на газопроводах можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи:

- Загроза життю та здоров'ю людей: Газ є потенційно небезпечним для людини, і витік газу може створити ризик отруєння або вибуху.
- Екологічні проблеми: Великі витіки газу можуть призвести до забруднення навколишнього середовища та шкоди довкіллю.
- Економічні втрати: Аварії та витіки газу можуть призвести до значних економічних втрат для газотранспортних компаній та споживачів газу.

4. Необхідність виявлення витоків газу. З огляду на потенційні наслідки витоків газу, важливо вчасно виявляти та усувати ці витіки.

Традиційні методи контролю можуть бути неефективними для раннього виявлення невеликих витоків. Тому використання автоматизованих систем з використанням оптичного та інфрачервоного спостереження може допомогти підвищити надійність та оперативність виявлення витоків газу.

Аналіз об'єкта контролю дає загальне уявлення про характеристики та важливість виявлення витоків газу на газопроводах. Ця інформація служить основою для подальшого розроблення та впровадження автоматизованої системи контролю на практиці.

1.6 Методи контролю

Тут розглядається, як саме планується виявляти виток газу на газопроводах з використанням нашої автоматизованої системи, яка працює на основі оптичного та інфрачервоного спостереження та використовує безпілотні літальні апарати (БПЛА) [11].

1. Спостереження за складом повітря. Один з методів полягає в тому, щоб аналізувати склад повітря навколо газопроводу за допомогою оптичних сенсорів. Виявляються будь-які зміни в складі повітря, які можуть вказувати на наявність витoku газу. Цей метод добре підходить для виявлення великих витоків.

2. Вимірювання температури. Інший метод ґрунтується на вимірюванні температури. Застосовується інфрачервоне спостереження, щоб виявити зміни в температурі навколо газопроводу. Газ, що витікає з тріщини, зазвичай має вищу температуру, і можна виявити ці зміни. Цей метод допомагає навіть виявити невеликі виток.

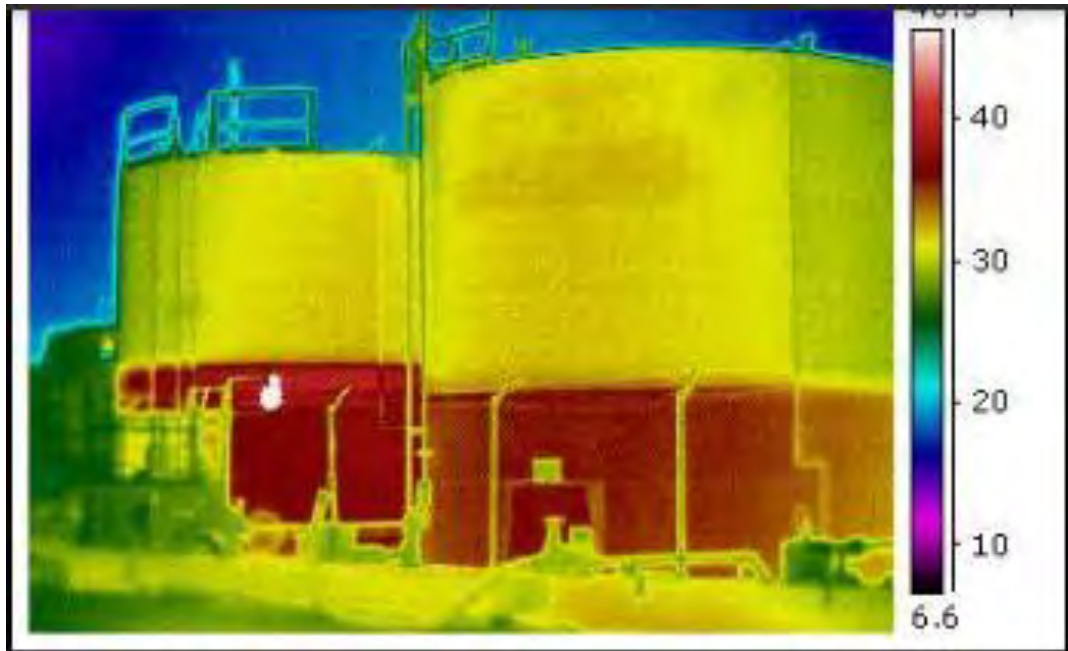


Рис. 3. Фотографія з тепловізора

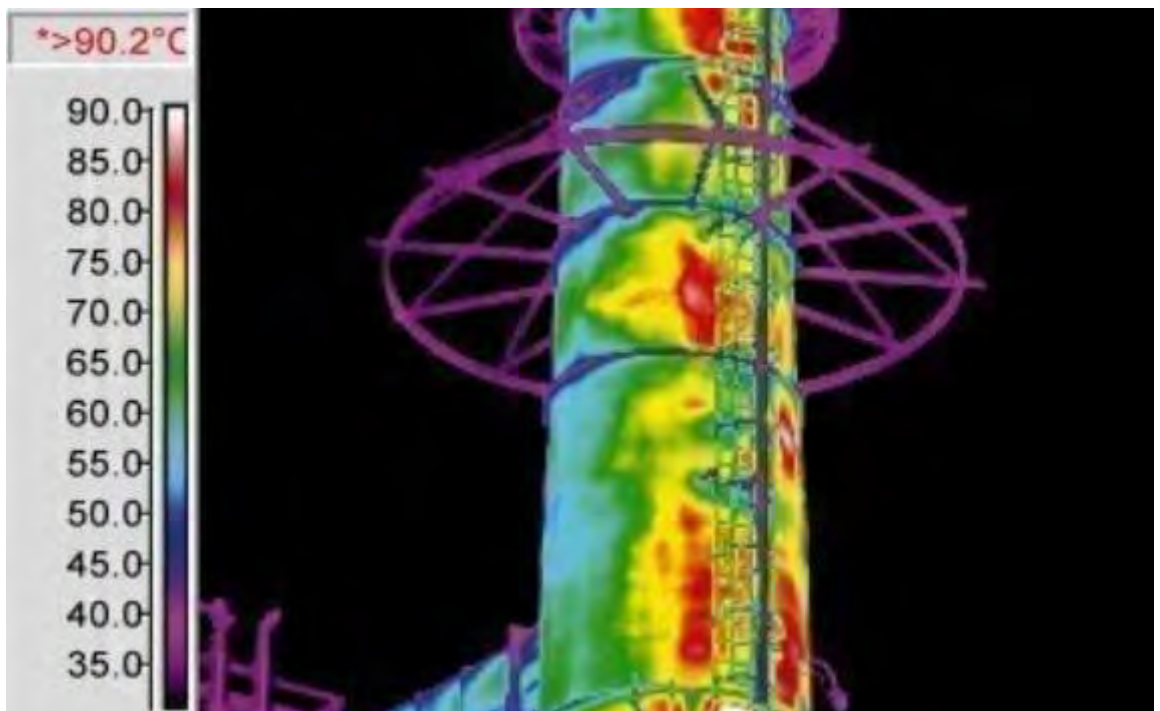


Рис. 4. Фотографія з тепловізора

3. Комбінація методів. Ми також розглядаємо комбінований підхід, коли використовуються обидва методи - оптичний та інфрачервоний контроль. Це забезпечує більш точне та надійне виявлення витоків.

Оптичний метод допомагає виявити зміни в складі повітря, а інфрачервоний - зміни в температурі.

4. Використання БПЛА. Особливо важливо відзначити, що всі ці методи можуть бути впроваджені за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вони можуть летіти навколо газопроводу та забезпечувати постійний моніторинг. Використання БПЛА допомагає вчасно виявляти навіть малі витoki та зменшує ризики.

5. Моніторинг у режимі реального часу. Дана система здатна працювати у режимі реального часу, що дозволяє негайно реагувати на будь-які зміни в навколишньому середовищі навколо газопроводу. Це важливо для оперативного виявлення та реагування на витoki газу, забезпечуючи безпеку і запобігаючи можливим аваріям.

6. Система сповіщення та реагування. У разі виявлення витoku газу наша система автоматично генерує сповіщення та інформує відповідних службовців. Це дозволяє оперативно реагувати на ситуацію, приймати необхідні заходи для безпеки та вживати заходів щодо усунення витoku.

Цей розділ надає важливий огляд того, як саме планується виявляти витoki газу на газопроводах. Використовуються різні методи та технології, включаючи спостереження за складом повітря, вимірювання температури та використання БПЛА, для забезпечення надійного та оперативного контролю.

1.7 Мета дослідження

Метою нашого дослідження є розробка та впровадження автоматизованої двоканальної системи контролю для виявлення витоків газу на газопроводах з використанням оптичного та інфрачервоного спостереження та безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основними аспектами нашої мети є [12]:

1. Підвищення безпеки газотранспортних систем. Дана система призначена для виявлення витоків газу на ранніх стадіях, дозволяючи

оперативно реагувати на потенційно небезпечні ситуації. Це сприяє підвищенню загальної безпеки газотранспорту.

2. Зменшення ризику аварій та втрат. Виявлення витоків газу на ранніх стадіях дозволяє запобігти можливим аваріям, які можуть призвести до людських жертв, забруднення навколишнього середовища та економічних збитків.

3. Оптимізація обслуговування газопроводів. Завдяки автоматизованому моніторингу можна виявляти точні місця витоків та проводити ремонтні роботи лише в необхідних ділянках газопроводу, що сприяє економії коштів та ресурсів.

4. Вдосконалення технік контролю. Дане дослідження також спрямоване на вдосконалення методів контролю газопроводів, зокрема використання оптичного та інфрачервоного спостереження разом з БПЛА. Це допомагає покращити точність та ефективність контролю.

5. Забезпечення екологічної стабільності. Важливою метою нашого дослідження є збереження навколишнього середовища. Вчасне виявлення і усунення витоків газу допомагає запобігти забрудненню природних ресурсів та зберегти екологічну стабільність.

6. Розвиток і впровадження нових технологій. Це дослідження спрямоване на розробку та впровадження нових технологій в газотранспортну галузь. Це сприятиме модернізації та підвищенню конкурентоспроможності цього сектору.

7. Покращення ефективності та економічної рентабельності. Впровадження цієї системи допоможе підвищити ефективність обслуговування газопроводів та знизити витрати на запобігання аваріям та ремонтні роботи.

Отже, основна мета цього дослідження полягає в створенні та впровадженні автоматизованої системи контролю для виявлення витоків газу на газопроводах з метою забезпечення безпеки, екологічної стабільності, ефективності та рентабельності газотранспортних систем.

1.8 Аналіз даних

У процесі дослідження використовуються дані, які отримані з обох каналів - оптичного та інфрачервоного, і об'єднуємо їх за допомогою спеціального програмного забезпечення для подальшого аналізу. Аналіз даних зі знімку має кілька етапів [13, 14, 15]:

1. Збір даних. Спершу, з обох каналів отримано знімки, які включають в себе інформацію про температурні та оптичні характеристики навколишнього середовища навколо газопроводу. Ці знімки збираються з регулярністю і зберігаються для подальшого аналізу.

2. Об'єднання кадрів. Наступним кроком є об'єднання кадрів з обох каналів в один загальний знімок. Це досягається за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке дозволяє синхронізувати дані з обох каналів. Результатом є знімок, який містить інформацію з обох джерел.

На першому рисунку можна побачити знімок з інфрачервоного каналу:

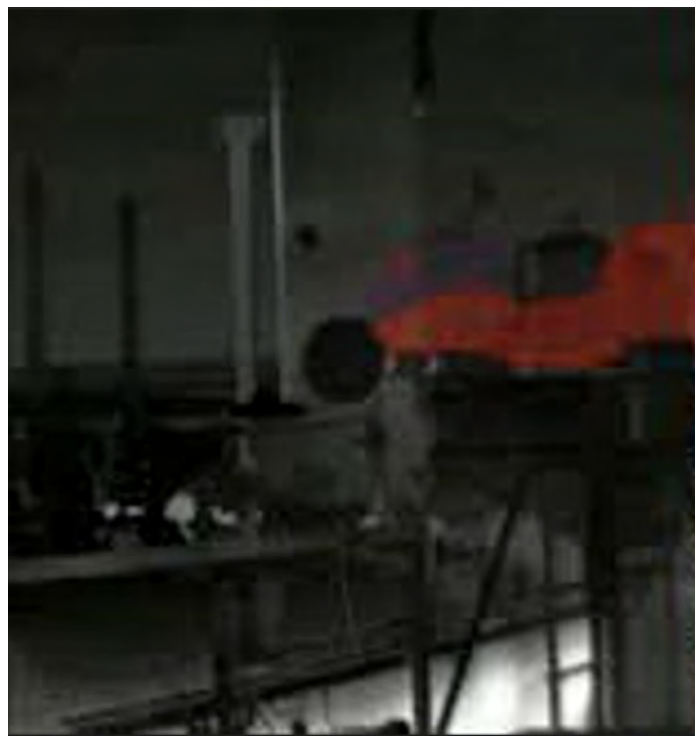


Рис. 5. Комбіноване зображення



Рис. 6. RGB зображення

На другому рисунку зображено вже знімок, який є об'єднаним з двох знімків з двох каналів:



Рис. 7. Комбіноване зображення

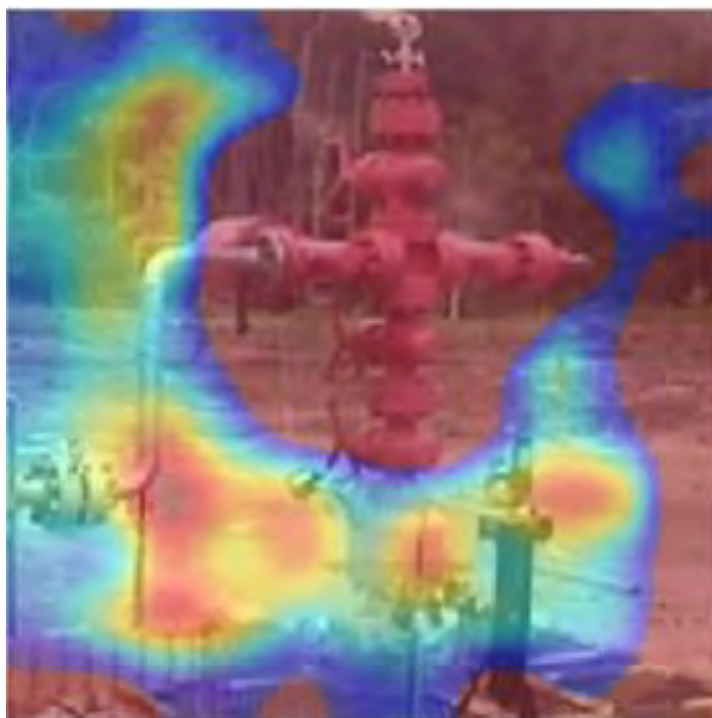


Рис. 8. Комбіноване зображення

3. Фільтрація та підготовка даних. Після об'єднання даних проводиться фільтрація та підготовка для подальшого аналізу. Можливі шуми або аномалії видаляються, а дані нормалізуються та перетворюються у вигляд, зручний для аналізу.

4. Визначення аномалій. Знімок аналізується з метою виявлення аномалій, які можуть вказувати на наявність витoku газу. Це може бути зміна температури, складу повітря, або інші аномалії, які відхиляються від нормальних параметрів.

5. Створення сповіщень та реакція. Якщо під час аналізу виявляються аномалії, система автоматично генерує сповіщення та інформує відповідні службовці для подальшої реакції. Це дозволяє оперативно реагувати на виявлення витоків та приймати необхідні заходи для безпеки.

Аналіз даних зі знімку є важливим етапом в нашій системі контролю, оскільки він дозволяє виявляти можливі витoki газу на газопроводах та надавати оперативні сповіщення для забезпечення безпеки та надійності газотранспортних систем.

1.9 Безпосереднє використання системи

Розроблена автоматизована двоканальна система для виявлення витоків газу на газопроводах з використанням оптичного та інфрачервоного спостереження та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) має безпосереднє використання в різних сферах та індустріях, що вимагають надійного контролю газопроводів і безпеки. Система може бути використана в газотранспортній та нафтогазовій промисловості для моніторингу газопроводів та виявлення витоків газу, запобігання аваріям та мінімізації ризиків [16].

Крім того, система може бути використана в екологічних організаціях для моніторингу довкілля та природних резерватів для виявлення можливих забруднень та витоків шкідливих речовин. У міських умовах система допомагає контролювати газові мережі та реагувати на витoki газу в житлових районах. Великі промислові комплекси можуть встановити систему для контролю газопроводів та підвищення безпеки на виробничих об'єктах. Наша система також може бути використана в наукових дослідженнях для вивчення процесів витоків газу та розробки нових методів контролю.

У випадках аварійних ситуацій система може бути використана аварійними службами та рятувальниками для оперативного реагування на ситуації з витокami газу та надання допомоги. Загалом, система сприяє покращенню безпеки, зменшенню ризиків аварій та забруднень, а також підвищенню ефективності контролю і реагування в різних галузях та сферах діяльності.

Безпосереднє використання нашої розробленої системи також може бути актуальним для моніторингу газопроводів у важкодоступних та віддалених районах, де традиційні методи контролю можуть бути обмеженими. Наша система дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг і

виявлення витоків газу навіть у важкодоступних місцях, що сприяє підвищенню безпеки та ефективності контролю.

Крім того, наша система може бути інтегрована в існуючі мережі моніторингу та управління газопроводами, що робить її універсальним і легко адаптованим до різних умов та вимог.

Завдяки використанню БПЛА, система може проводити регулярні польові обліки і виявлення витоків газу без необхідності значних людських ресурсів та ризику для життя працівників. Це робить процес моніторингу більш безпечним та ефективним.

Отже, безпосереднє використання нашої системи варто розглядати як інноваційний та надійний спосіб підвищити безпеку, знизити ризики та забруднення, а також покращити ефективність контролю газопроводів у різних умовах та галузях, які вимагають надійного моніторингу та безпеки [17].



Рис. 9. Приклад тепловізора на БПЛА

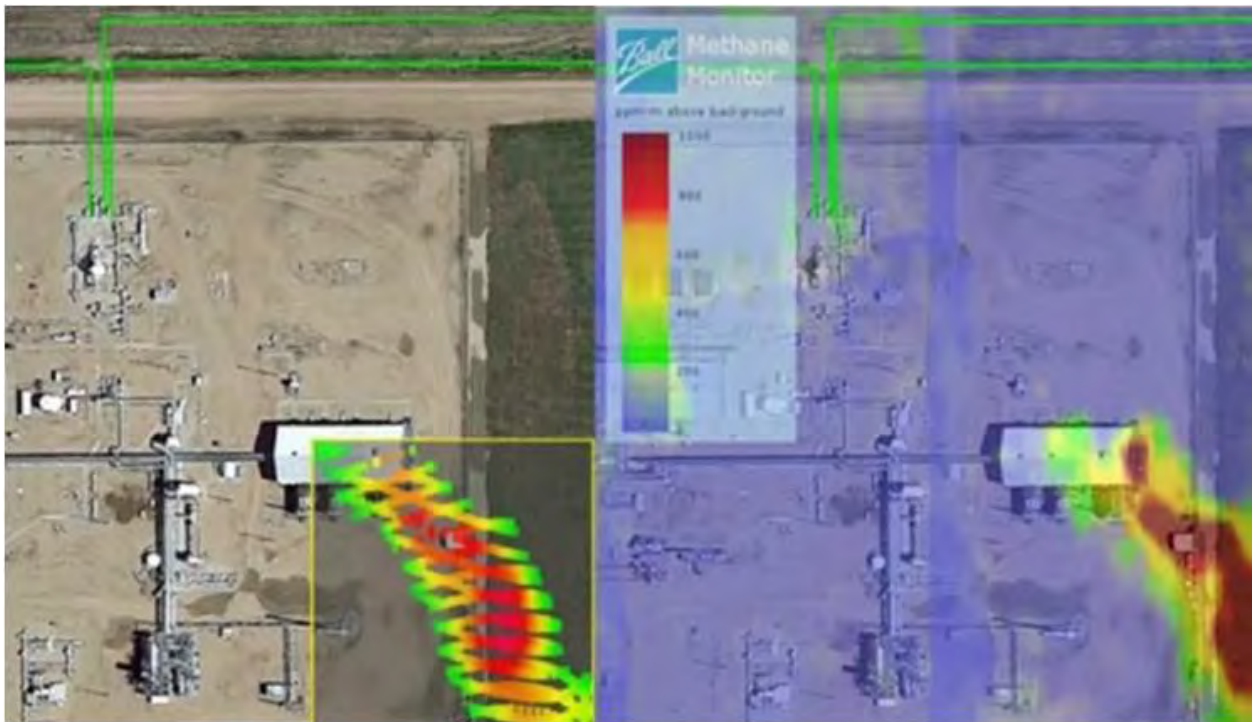


Рис. 10. Комбіноване зображення

Висновки до розділу 1

У розділах, присвячених теоретичним аспектам, був проведений докладний аналіз літературних джерел та існуючих систем, що допомогло отримати глибоке розуміння проблематики виявлення витоків газу на газопроводах.

Проведений огляд літературних джерел дозволив визначити сучасний стан досліджень у сфері автоматизованого виявлення витоків газу та визначити основні напрямки розвитку.

Вивчення існуючих систем-аналогів дало можливість визначити сильні та слабкі сторони поточних підходів і систем, надаючи цінну інформацію для розробки запропонованої автоматизованої двоканальної системи.

У результаті дослідження теоретичних аспектів виявлення витоків газу на газопроводах застосуванням автоматизованої двоканальної системи було виявлено, що запропонований підхід має потенціал для вдосконалення ефективності та точності виявлення аномалій. Подальші дослідження та

експериментальні випробування допоможуть у вдосконаленні системи та підтвердять її придатність для практичного використання в умовах реального газопроводу.

Ці результати будуть важливим внеском у розробку ефективних систем контролю та підтримки безпеки газопроводів, що в свою чергу призведе до зменшення ризиків та покращення екологічної стійкості газотранспортної інфраструктури.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТА ОПИС ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

2.1 Структурна схема двоканальної системи

Структурна схема розробленої автоматизованої двоканальної системи для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА відображає ключові етапи та елементи, які забезпечують її ефективну роботу [18, 19].

Структурна схема двоканальної системи показана на рис. 11.

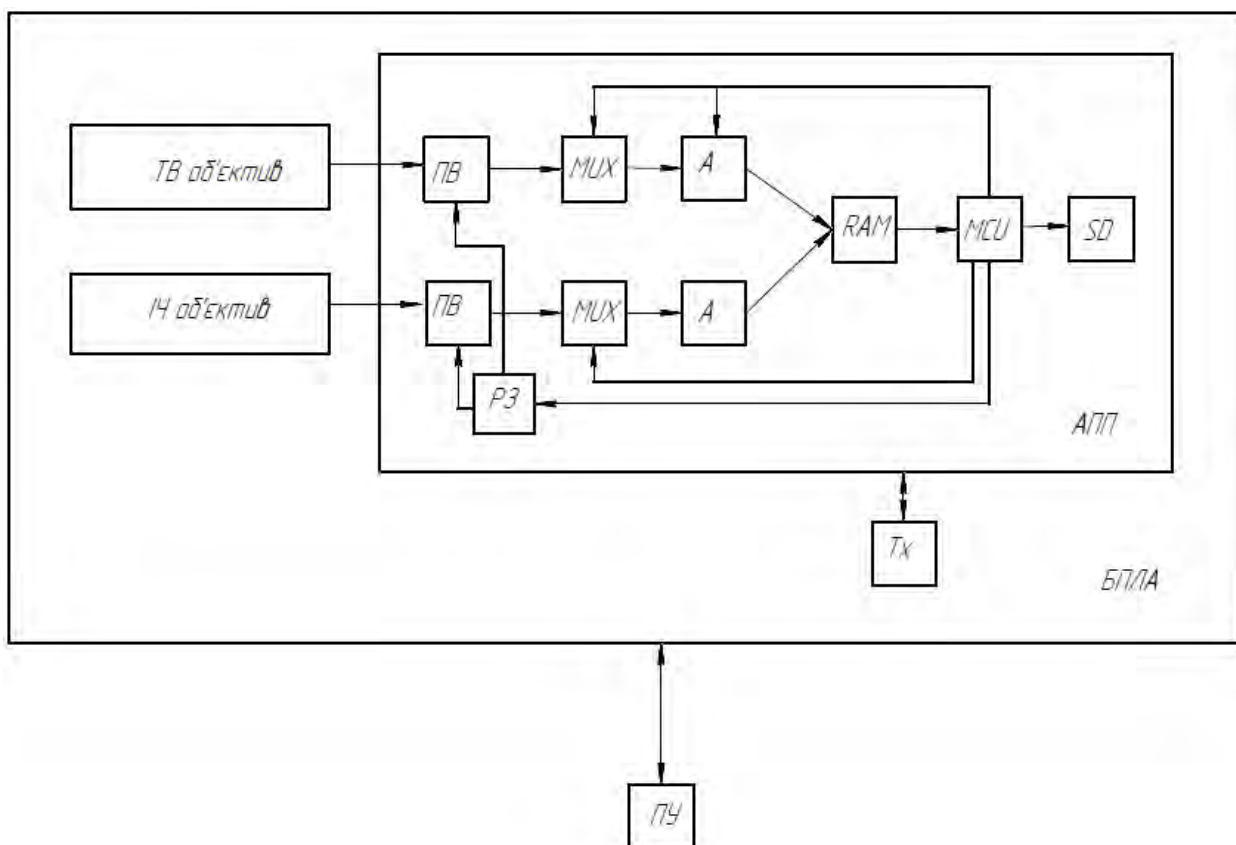


Рис. 11. Структурна схема системи

Структурна схема пристрою, яка представлена в додатку Б до дослідження, складається із наступних компонентів: оптичного тракту передачі випромінювання видимого діапазону довжин хвиль оптичного спектру, оптичного тракту передачі інфрачервоного випромінювання,

матричного приймача ПВ для видимого спектру, матричного приймача ПВ для інфрачервоного спектру, двох мультиплексорів MUX, регістр зсуву P3, двох аналогово-цифрових перетворювачів А, оперативної пам'яті RAM, мікроконтролера MCU, SD-карти пам'яті та двох радіопередавачів Tx, один з яких знаходиться на БПЛА, а інший-у пульті управління.

Принцип функціонування цієї системи можна викласти наступним чином. Випромінювання інфрачервоного (ІЧ) та видимого (ТВ) спектрів, яке випромінює об'єкт контролю та фон, надходить у два оптичні канали, згідно їх робочих довжин хвиль, та формує зображення на чутливих площадках відповідних матричних приймачів випромінювання ПВ. Мікроконтролер MCU вмикає регістр зсуву P3, який послідовно опитує рядки, з яких зчитуються дані. Використання регістру зсуву P3 є необхідним, оскільки це дозволяє "розширити" кількість цифрових виходів у мікроконтролері MCU. Потім паралельно сигнали всіх пікселів обраного рядка подаються до мультиплексора MUX. Мультиплексор MUX, залежно від сигналу, що йому відправляється мікроконтролером MCU, пропускає один сигнал, який потім відцифровується аналого-цифровим перетворювачем А. Отриманий цифровий сигнал записується в блок пам'яті RAM. Після запису сигналів з усіх пікселів обох приймачів, мікроконтролер MCU оброблює отримані дані, використовуючи код, описаний нижче. Зображення після обробки зберігається на SD-карті пам'яті та передається оператору в режимі реального часу. Ці процеси виконуються під час польоту БПЛА, що керується пультом управління ПУ, на якому можна постійно бачити зображення з обох каналів.

2.2 Розробка інфрачервоного каналу

Першочергово в розробці оптичної системи потрібно підібрати фізичні характеристики даної системи [20, 21].

Конструктивні характеристики розробляємої системи, показані на рис.

12.

Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000
1	Standard		Infinity	2.000	GERMANIUM	15.131	0.000
2	Standard		Infinity	1.000		15.088	0.000
STO	Standard		50.707 V	3.500	GERMANIUM	15.204	0.000
4	Standard		91.311 V	2.727 V		14.704	0.000
5	Standard		161.964 V	2.500	KRS5	13.920	0.000
6	Standard		77.062 V	36.991 V		13.308	0.000
7	Standard		9.035 V	2.500	ZNSE	4.633	0.000
8	Standard		8.944 V	1.531 V		3.740	0.000
IMA	Standard		Infinity	-		3.453	0.000

Рис. 12. Конструктивні характеристики оптичної системи в ZEMAX

Розроблена 3D модель та тіньова модель оптичної системи.

Дані моделі представлені на рис. 13 та 14.

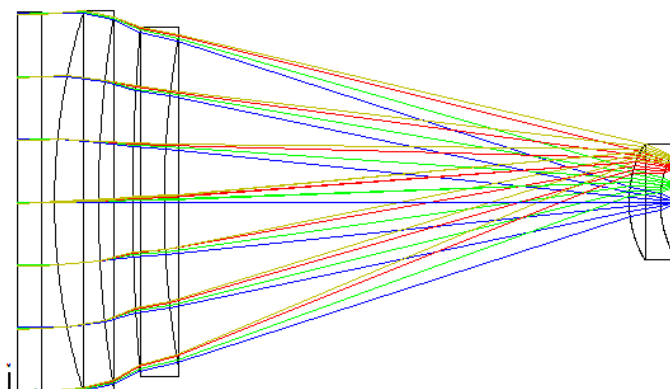


Рис. 13. 3D модель оптичної системи

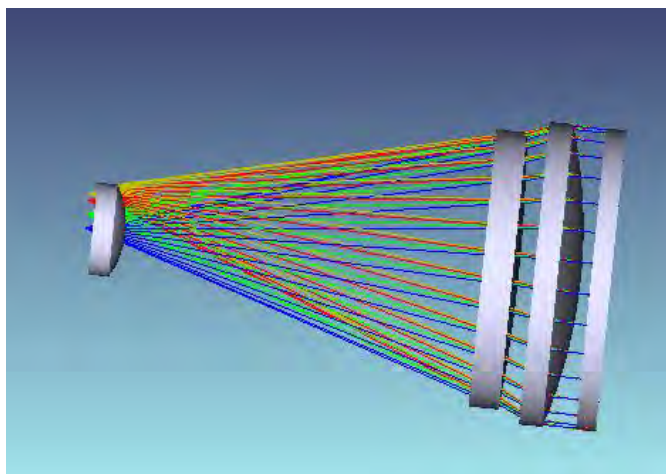


Рис. 14. Тіньова модель оптичної системи

Представлені параметри оптичної системи, які розраховані програмою ZEMAX.

Вони показані на рис. 15.

Date : 04.12.2023

GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces          :          9
Stop              :          3
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 30
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 : 38.88618 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 38.88618 (in image space)
Back Focal Length : 1.53881
Total Track      : 52.74884
Image Space F/#  : 1.296206
Paraxial Working F/# : 1.296206
Working F/#      : 1.299796
Image Space NA   : 0.3598939
Object Space NA  : 1.5e-009
Stop Radius      : 15
Paraxial Image Height : 3.4021
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 30
Entrance Pupil Position : 1.499158
Exit Pupil Diameter : 166.5494
Exit Pupil Position : -215.8743
Field Type       : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 5
Primary Wavelength : 8 µm
Lens Units       : Millimeters
Angular Magnification : 0.1801277
    
```

Fields : 4

```

Field Type : Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 2.000000 1.000000
3 0.000000 4.000000 1.000000
4 0.000000 5.000000 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
4 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
    
```

Wavelengths : 5

```

Units: µm
# Value Weight
1 8.000000 1.000000
2 9.000000 1.000000
3 10.000000 1.200000
4 11.000000 1.000000
5 12.000000 1.000000
    
```

Рис 15. Параметри оптичної системи, розраховані програмою ZEMAX

Було проведемо оцінку характеристик оптичної системи, зосереджуючись на просторово-частотних, енергетичних та геометричних властивостях. Поведінку просторово-частотних характеристик можна визначити через модуляційну передавальну функцію, яка зображена на рисунку 16.

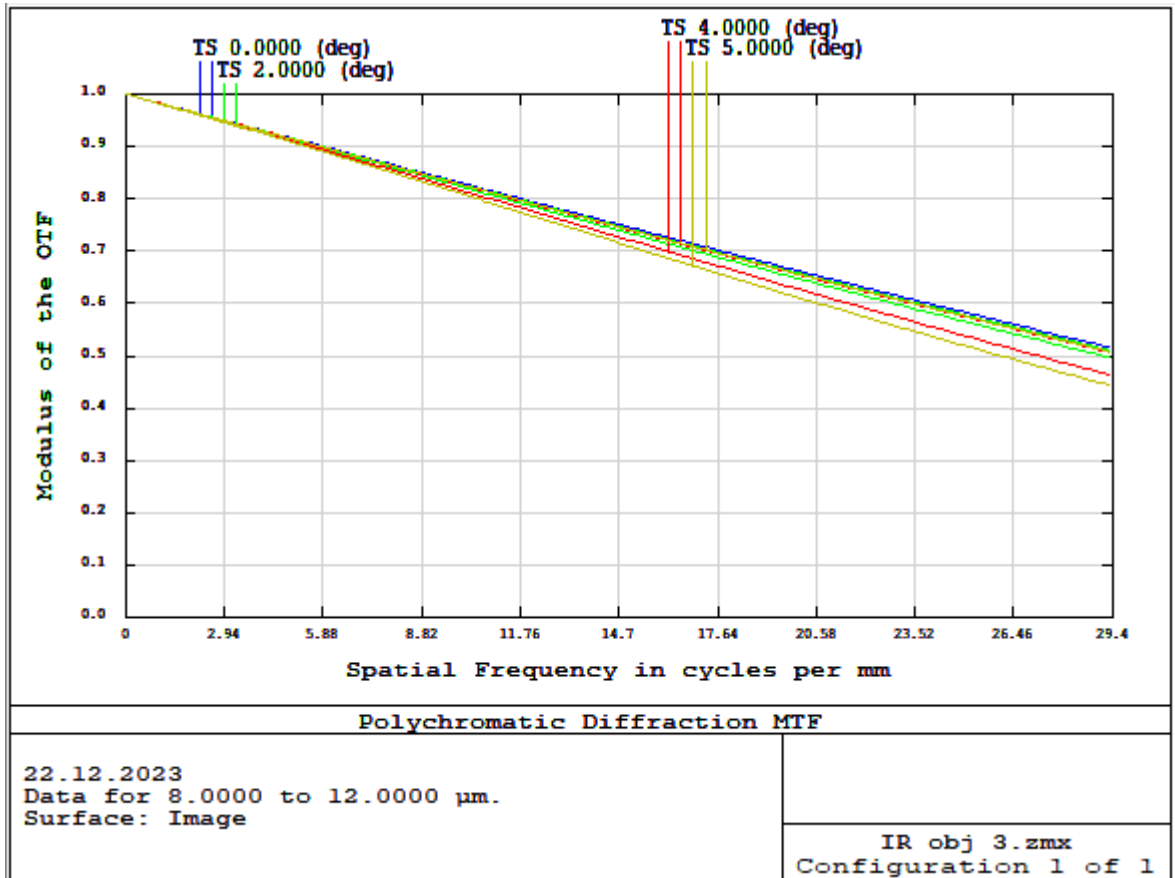


Рис 16. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

Як видно з графіку, модуляційна передавальна функція на краю поля зору системи має рівень контрасту приблизно 45%. Ця характеристика показує, що зображення буде доволі якісне.

Щоб отримати функцію концентрації енергії, було використано вбудовану функцію «Encircled Energy» в ZEMAX. Вона представлена на рис. 17.

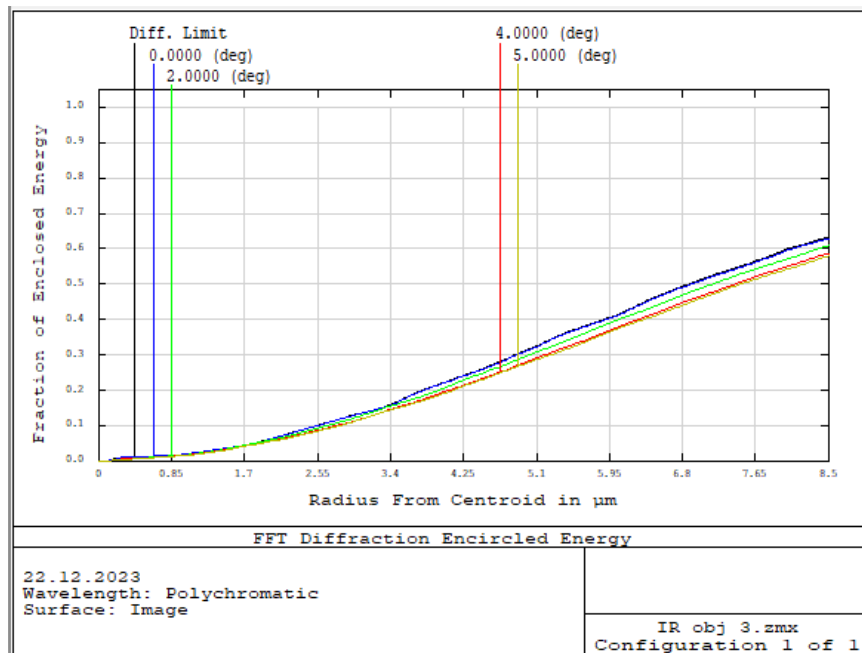


Рис. 17. Функція концентрації енергії оптичної системи

На цьому графіку можна побачити рівень концентрації енергії на краю поля зору системи, який дорівнює 60% і для чіткої картинки цього рівня буде цілком достатньо.

Графіки розсіювання, зображені на діаграмах кругів (рис 18) для різних кутів поля зору, дають змогу оцінити можливі аберації в оптичній системі.

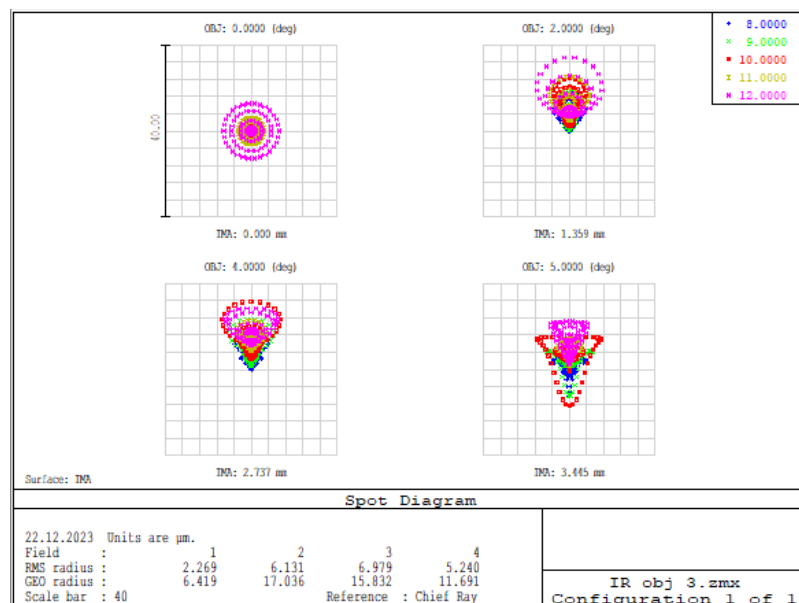


Рис. 18. Діаграма плям розсіювання оптичної системи тепловізор

З цієї діаграми можна побачити, що на краю поля зору середньоквадратичне значення радіусу плями, яке дорівнює 5.240 мікрометрів, нижче в декілька разів ніж половина розміру пікселя. Це дає нам розуміння, що картинка буде доволі чіткою [22].

Також був обраний приймач для оптичної системи, GST417M. Його характеристики представлені на рис. 19:

Model	GST417M
Sensitive Material	Vanadium Oxide
Resolution	400x300
Pixel Size	17 μ m
Spectral Range	8-14 μ m
Typical NETD	<30mK
Digital Output	Built-in 14 bit ADC
Thermal Time Constant	<12ms
Max Frame Rate	50Hz
Power Consumption	\leq 250mW
Size (mm)	30x19.8x7.32 (Without Pin Size)
Weight	<15g
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C

Рис. 19. Характеристики приймача оптичної системи

Для цього приймача був отриманий графік освітленості, рис 20.

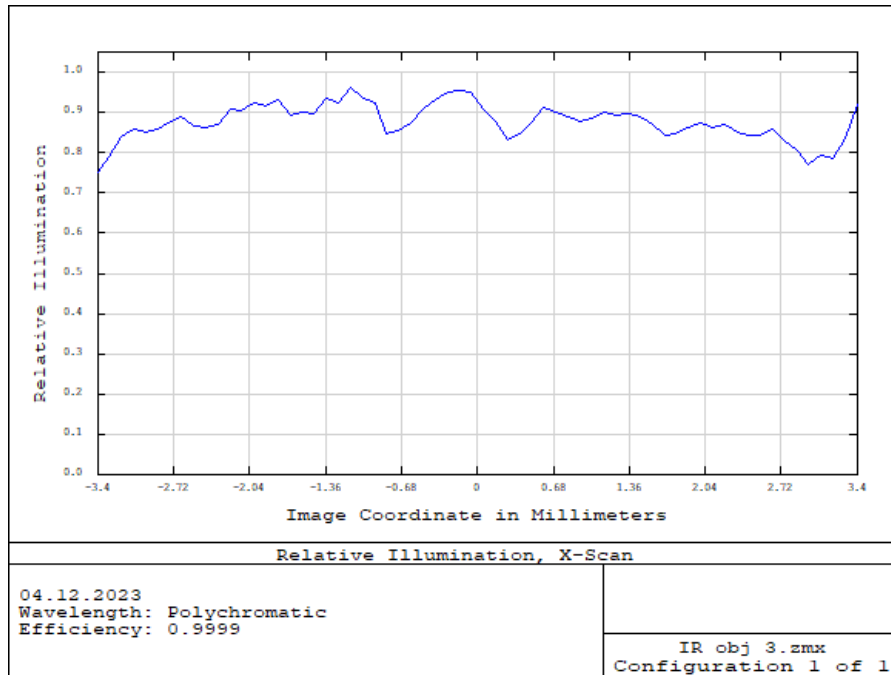


Рис. 20. Графік освітленості

Отже, розроблена модель оптичної системи тепловізора є достатньо оптимізованою та ефективною, що дозволить створити досить точний вимірювальний прилад.

2.3 Розробка телевізійного каналу

Для початку, визначаємо фізичні характеристики даної оптичної системи [23, 24, 25].

Конструктивні характеристики даної системи, показані на рис. 21.

Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000
1	Standard		Infinity	1.500	F2	6.767	0.000
2	Standard		Infinity	1.000		6.649	0.000
3	Standard		22.000 V	3.259	SK16	6.392	0.000
4	Standard		-435.760 V	6.000		5.944	0.000
5	Standard		-22.200 V	1.000	F2	4.028	0.000
STO	Standard		20.300 V	4.750		3.866	0.000
7	Standard		79.700 V	2.952	SK16	5.038	0.000
8	Standard		-18.395 V	42.271		5.308	0.000
IMA	Standard		Infinity	-		6.593	0.000

Рис. 21. Конструктивні характеристики оптичної системи в ZEMAX

Була створена тривимірна модель та тіньова модель для оптичної системи.

Дані моделі представлені на рис. 22 та 23.

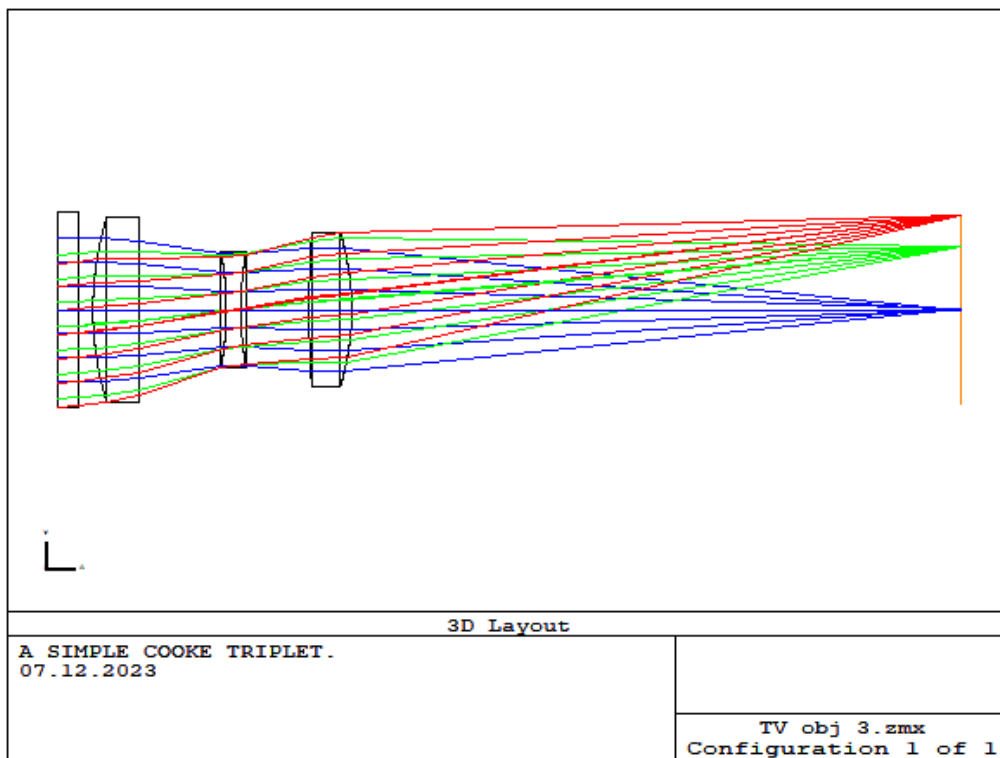


Рис. 22. тривимірна модель оптичної системи

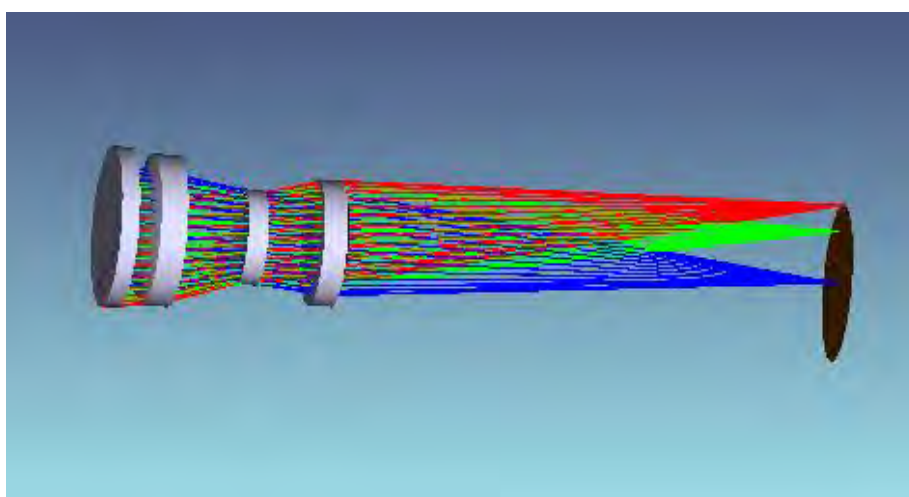


Рис. 23. Тіньова модель оптичної системи

Далі були отримані параметри оптичної системи, які були розраховані за допомогою програми ZEMAX [26].

Їх представлено на рисунку 24.

```

Title: A SIMPLE COOKE TRIPLET.
Date : 07.12.2023

LENS NOTES:

Notes...

GENERAL LENS DATA:

Surfaces          :          9
Stop              :          6
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 10
Glass Catalogs   : SCHOTT
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 : 49.97798 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 49.97798 (in image space)
Back Focal Length  : 42.39769
Total Track       : 62.73241
Image Space F/#   : 4.997798
Paraxial Working F/# : 4.997798
Working F/#       : 4.975956
Image Space NA    : 0.09954712
Object Space NA   : 5e-010
Stop Radius       : 3.801265
Paraxial Image Height : 6.579726
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 10
Entrance Pupil Position : 13.42478
Exit Pupil Diameter : 10.23474
Exit Pupil Position : -51.02449
Field Type        : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 7.5
Primary Wavelength : 0.55 µm
Lens Units        : Millimeters
Angular Magnification : 0.9770641

Fields           : 3
Field Type       : Angle in degrees
#               X-Value      Y-Value      Weight
1               0.000000      0.000000      1.000000
2               0.000000      5.000000      1.000000
3               0.000000      7.500000      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               0.400000      0.800000
2               0.550000      1.000000
3               0.650000      0.800000

```

Рис 24. Параметри оптичної системи, розраховані програмою ZEMAX

Подальше дослідження характеристик оптичної системи включало оцінку її просторово-частотних, енергетичних та геометричних властивостей.

Зокрема, для аналізу просторово-частотних характеристик була використана модуляційна передавальна функція, яка зображена на рисунку 25.

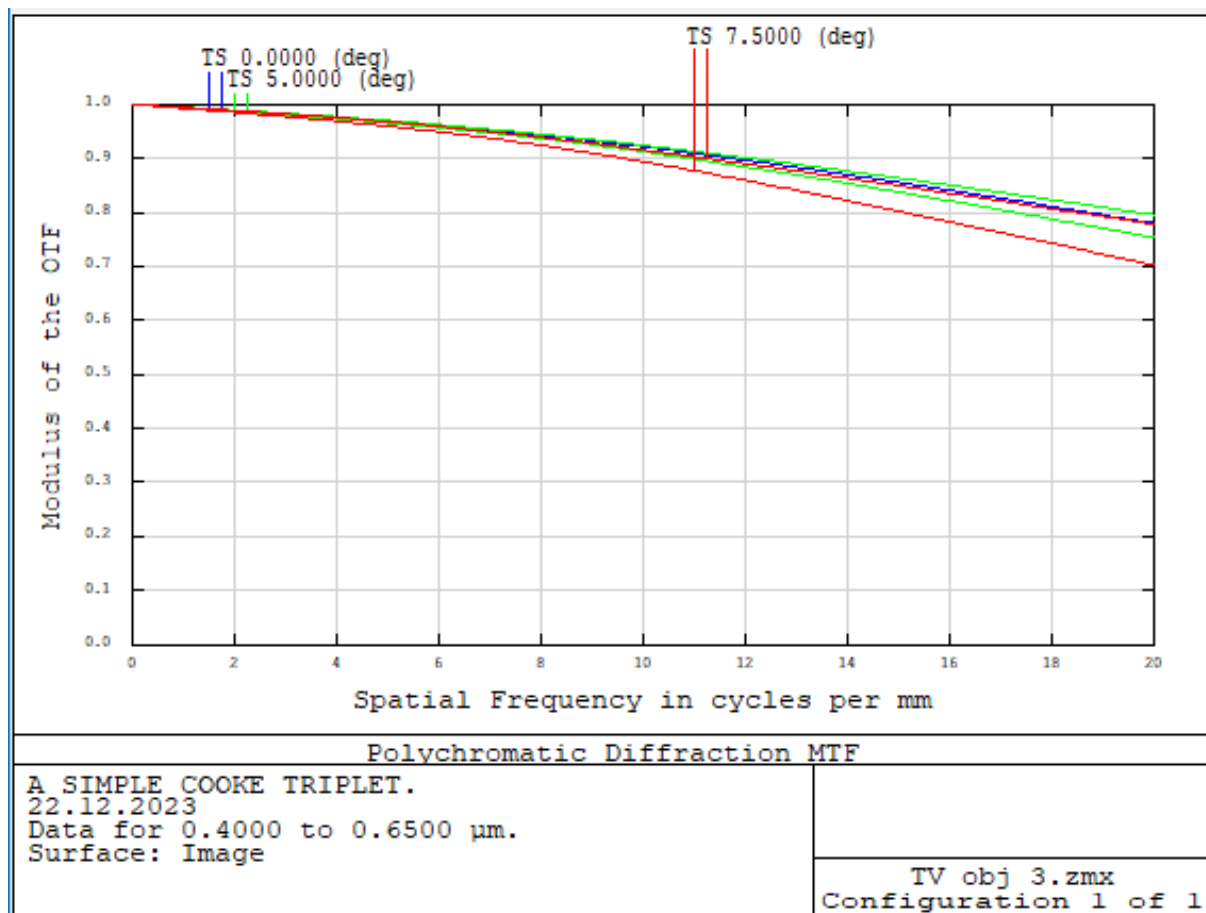


Рис. 25. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

Даний графік показує, що модуляційна передавальна функція на краю поля зору системи має рівень контрасту приблизно 70%. Цей рівень показує, що зображення більш ніж якісне, оскільки мінімальний рівень для якісного зображення є 60 % [27].

Діаграми розсіювання, відтворені на графіках кругів (рис. 26) для різних кутів поля зору, дозволяють аналізувати потенційні аберації у оптичній системі.

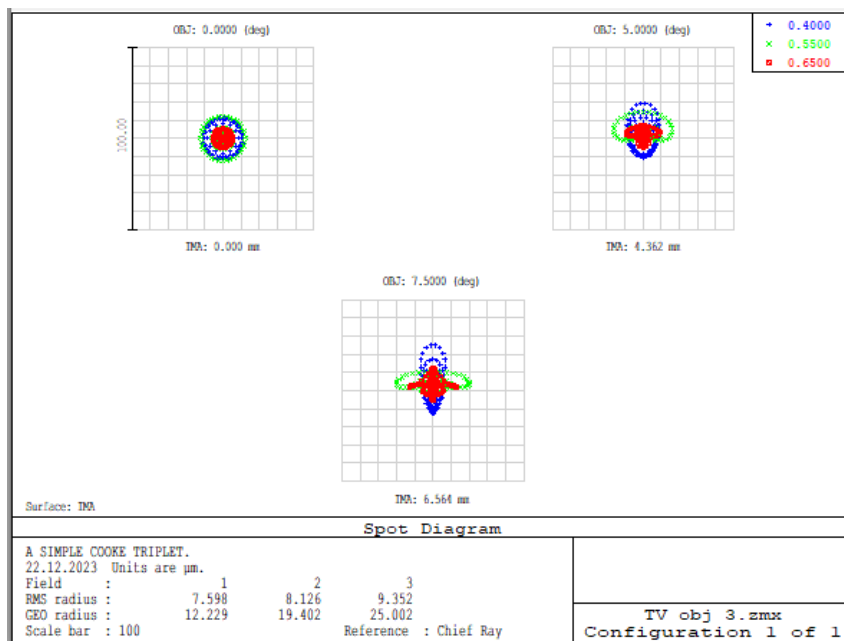


Рис. 26. Діаграма плям розсіювання оптичної системи тепловізор

Ця діаграма дає розуміння, що зображення чітке та якісне, оскільки на краю поля зору середньоквадратичне значення радіусу плями, яке дорівнює 9.352 мікрометри, кратно нижче ніж половина розміру пікселя.

Також був змодельований графік освітленості для оптичної системи, який показаний на рис. 27.

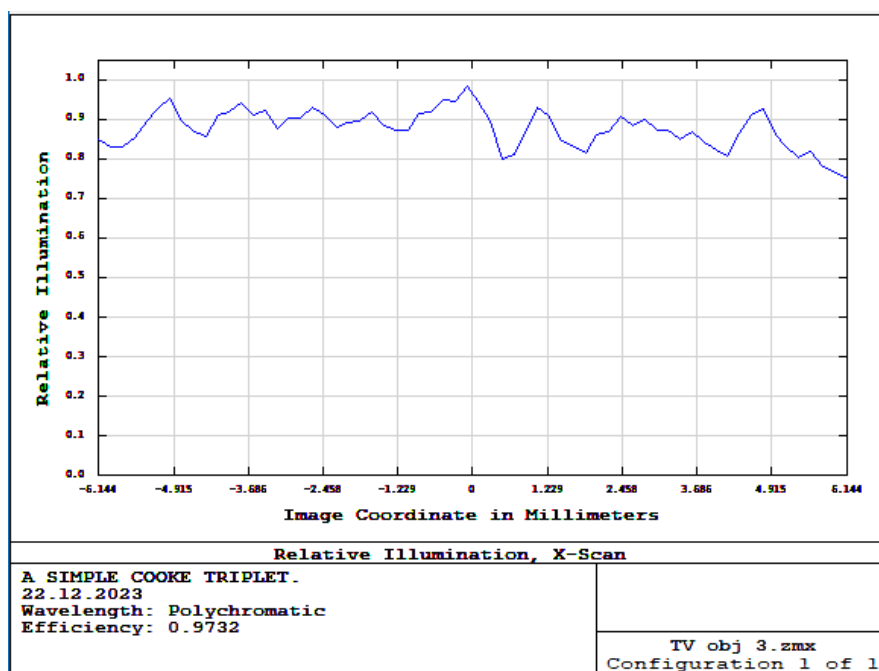


Рис. 27. Графік освітленості

Був підібраний приймач для оптичної системи, Hamamatsu S9736-01.
Його характеристики наведені на рис. 28:

■ Electrical and optical characteristics (Ta=25 °C, unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Remark	Min.	Typ.	Max.	Unit
Saturation output voltage	Vsat	-	-	Fw × Sv	-	V
Full well capacity	Vertical	-	150	300	-	ke ⁻
	Horizontal	-	-	360	-	
CCD node sensitivity	Sv	*4	-	3.5	-	μV/e ⁻
Dark current (MPP mode)	+25 °C	-	-	200	3000	e ⁻ /pixel/s
	0 °C	DS	*5	10	150	
	-70 °C	-	-	0.001	0.01	
Readout noise	Nr	*6	-	4	18	e ⁻ rms
Dynamic range (Area scanning)	-	*7	-	75000	-	-
Spectral response range	λ	-	-	400 to 1100	-	nm
Photo response non-uniformity	PRNU	*8	-	-	±10	%
Blemish	Point defects	-	*9	-	0	-
	Cluster defects	-	*10	-	0	
	Column defects	-	*11	-	0	

*4: V_{DD}=20 V, Load resistance=22 kΩ
 *5: Dark current nearly doubles for every 5 to 7 °C increase in temperature.
 *6: -40 °C, operating frequency is 80 kHz.
 *7: DR = Fw / Nr
 *8: Measured at half of the full well capacity, PRNU = noise / signal × 100 [%], noise: fixed pattern noise (peak to peak)
 *9: White spots > 3 % of full well at 0 °C after Ts=1 s, Black spots > 50 % reduction in response relative to adjacent pixels
 *10: A group of 2 to 9 continuous point defects
 *11: A group of 10 or more continuous point defects

Рис. 28. Характеристики приймача оптичної системи

За результатами використання вбудованих функцій програми "ZEMAX" видно, що оптична система відображає чітке зображення, яке відповідає вимогам поставленого завдання. Якість та розмір зображення гармонізовані з параметрами багатоелементного приймача випромінювання [28].



Рис. 29 відображає модельоване зображення, сформоване телевізійним каналом.

Висновок до розділу 2

Під час активної фази розробки оптичної системи для проекту "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" була вдосконалена та успішно впроваджена детальна схема системи, охоплюючи телевізійний та інфрачервоний канали. Використання програми ZEMAX виявилось ефективним інструментом для синтезу та моделювання оптичних каналів, дозволяючи ретельно розраховувати параметри та характеристики системи та візуалізувати отримані дані у вигляді графіків, схем та діаграм.

Орієнтовані на отримання високоякісного зображення при компактних розмірах, обидва канали системи були розроблені відповідно до високих технологічних стандартів та принципів доступності. Це стратегічно відповідає меті використання пристрою для ефективного контролю температури на масових заходах, де легкість установки та портативність мають вирішальне значення.

Компактні розміри сприяють легкості установки в утруднених місцях, а доступна ціна робить нашу систему доступною та популярною серед різних категорій користувачів. Додатково, структурна схема тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення визначає проект як інноваційний та конкурентоспроможний на ринку.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Вибір мови програмування та середовища розробки

У даному розділі розглядається важливий аспект розробки - вибір технічного стеку, який включає в себе мову програмування та середовище розробки. Основною метою є обґрунтування вибору конкретних технічних інструментів для успішної реалізації завдань проєкту.

1. Критерії вибору технічного стеку. Для визначення технічного стеку враховувалися такі критерії:

- Відповідність завданням проєкту: обрані інструменти повинні ефективно вирішувати поставлені завдання та відповідати специфіці проєкту.
- Легкість розробки та підтримки: важливо, щоб мова програмування та середовище розробки сприяли швидкій розробці та легкості утримання кодової бази.
- Ефективність та продуктивність: обрані інструменти повинні забезпечувати високий рівень продуктивності та оптимізації.
- Спільнота розробників: активна спільнота розробників сприяє вирішенню проблем та підтримці.

2. Вибір мови програмування. Враховуючи вказані критерії, вибір було зроблено на користь Python. Ця мова відзначається високою читабельністю коду, що полегшує розробку, а також має широкий спектр бібліотек для розв'язання різноманітних завдань.

3. Вибір середовища розробки. Середовище розробки обрано Visual Studio Code (VSCode). Воно володіє зручним інтерфейсом та багатофункціональністю, що робить його ефективним інструментом для розробки на Python.

Отже, обраний технічний стек відповідає вимогам проєкту, забезпечуючи ефективну та продуктивну розробку. Це стане основою для успішної імплементації функціоналу проєкту.

3.2 Написання коду

Першочергово підключаємо бібліотеки, які будуть використовуватись [29].

```
import imageio as iio
import numpy as np
import skimage
```

Imageio: imageio - це бібліотека для роботи з обробкою та аналізом медіаданих, таких як зображення та відео, в мові програмування Python. Вона надає зручний інтерфейс для зчитування та запису зображень у різних форматах, включаючи GIF, PNG, JPEG та інші.

Однією з основних переваг imageio є його здатність автоматично визначати формат файлу на основі його вмісту, що полегшує взаємодію з різними типами медіаданих. Бібліотека також підтримує роботу з веб-ресурсами, що робить її корисною для завдань, пов'язаних з веб-розробкою та аналізом вмісту з Інтернету.

Використовуючи imageio, розробники можуть швидко та ефективно працювати з зображеннями, використовуючи Python, і виконувати операції обробки зображень у своїх проєктах.

NumPy: NumPy є основною бібліотекою для наукових обчислень в мові програмування Python. Основними її складовими є масиви, які дозволяють виконувати векторизовані операції над даними, а також високорівневі математичні функції для роботи з цими масивами. Основні характеристики NumPy:

Масиви (Arrays): NumPy надає високоефективні масиви, які дозволяють здійснювати операції над цілими масивами даних без необхідності використання циклів.

Математичні функції: Бібліотека містить велику кількість векторизованих математичних функцій, що спрощує обробку даних.

Бродкастинг (Broadcasting): Механізм, який дозволяє виконувати операції над масивами різних розмірів та форм без необхідності їхнього явного розширення.

Індексація та зрізи (Indexing and Slicing): NumPy надає потужні можливості індексації та зрізів для отримання необхідних даних з масивів.

Лінійна алгебра: Бібліотека містить функції для виконання операцій лінійної алгебри, такі як розв'язання систем лінійних рівнянь, обчислення власних значень та векторів, матричні розклади тощо.

Введення/виведення даних: Можливості роботи з різними форматами даних, включаючи текстові файли, бінарні файли та дані, представлені у форматі CSV.

NumPy є невід'ємною складовою екосистеми наукових обчислень в Python і використовується у багатьох галузях, таких як обробка даних, машинне навчання, візуалізація та багато інших.

Skimage: scikit-image (або skimage) - це бібліотека для обробки та обробки зображень в мові програмування Python. Деякі ключові характеристики scikit-image:

Зображення як масиви NumPy: scikit-image надає можливість представляти зображення як масиви NumPy, що спрощує їх обробку.

Процедурна бібліотека: Вона надає простий та зрозумілий інтерфейс для багатьох операцій зображень.

Обробка зображень: scikit-image містить численні алгоритми для обробки зображень, такі як фільтрація, конволюція, морфологічні операції, виявлення країв та багато інших.

Сегментація зображень: Бібліотека надає інструменти для сегментації (розділення) зображень, що є важливим етапом у великій кількості завдань обробки зображень.

Операції зі зображеннями в колірі: Підтримка операцій з кольоровими зображеннями, включаючи конвертацію просторів кольорів та обчислення гістограм кольорів.

Робота з зображеннями медичного призначення: scikit-image дозволяє виконувати операції з обробки та аналізу медичних зображень.

scikit-image часто використовується в області комп'ютерного зору, наукових досліджень, обробки медичних зображень та інших дисциплінах, де обробка та аналіз зображень важливі для завдань.

Далі визначається розташування вхідних та вихідних даних:

```
IN_RGB_PATH = r"data\img\1_rgb.jpg"
IN_THERMAL_PATH = r"data\img\1_thermal.png"
OUTPUT_PATH_RGB = r"test.png"
```

Далі йде зчитування файлів фотографій:

```
frame_rgb = iio.imread(IN_RGB_PATH)
frame_thermal = iio.imread(IN_THERMAL_PATH)
```

Теплові зображення мають однакові значення каналу, тому можна взяти лише один канал:

```
frame_thermal = frame_thermal[:, :, 0]
```

Попереднє збільшення об'єму бітів під час об'єднання фотографій:

```
frame_rgb = frame_rgb.astype(np.float64)
frame_thermal = frame_thermal.astype(np.float64)
```

Покращення інфрачервоної картинки:

```
frame_thermal = frame_thermal - frame_thermal.min()
frame_thermal /= frame_thermal.max()
```

Перетворення значення яркості на номер кольору:

```
thermal_hsv = np.stack(
```

```
[
```

```

(1 - frame_thermal) * 0.66, # hue, 0.66 is 240/360
np.ones_like(frame_thermal), # saturation
np.ones_like(frame_thermal), # value
], axis=-1
)
thermal_rgb = skimage.color.hsv2rgb(thermal_hsv)
thermal_rgb = (thermal_rgb * 255)#.astype(np.uint8)
Об'єднання та обрізання холодних частин з інфрачервоної картинки:
alpha = 0.3 # thermal overlay opacity
mix_threshold = 0.0 # temperatures below are not displayed
thermal_rgb[frame_thermal < mix_threshold] = [0, 0, 0]
result = (1 - alpha) * frame_rgb + alpha * thermal_rgb
result = result.astype(np.uint8)
Виведення результату:
iio.imwrite(OUTPUT_PATH_RGB, result)

```

З відео все так само як і з фотографіями, але замість просто зчитувати файли, ще потрібно розбивати відео на фрейми:

```

for frame_rgb, frame_infrared in zip(
    iio.imread(INPUT_PATH_RGB),
    iio.imread(INPUT_PATH_INFRARED) ):

```

Результатом даного скрипту є комплексовані фотографії:

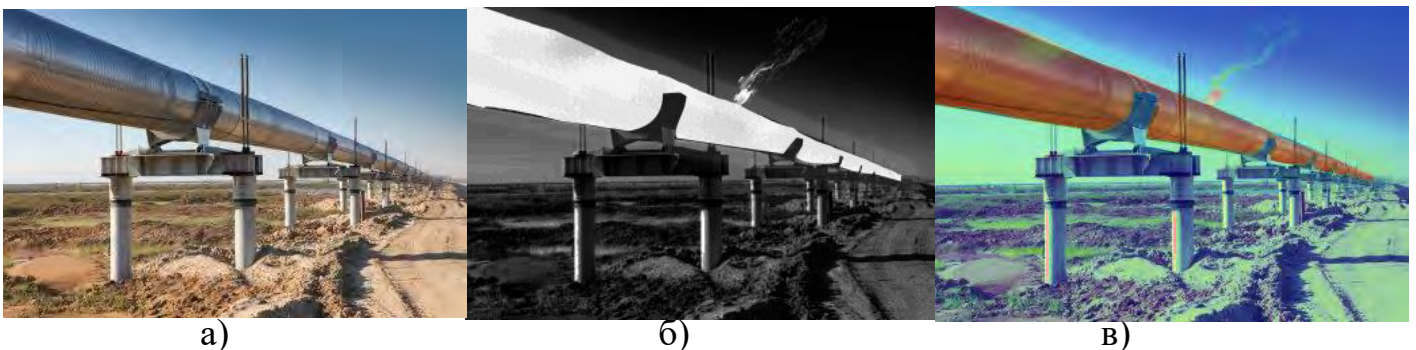


Рис. 30. Зображення, отримані в різних діапазонах довжин хвиль оптичного спектру: а) видимий діапазон; б) інфрачервоний діапазон; в) результуюче зображення

Також гарний приклад точного виявлення місця витоку газу на рисунках рис. 33, рис. 34 та рис. 35.



Рис. 33. RGB картинка

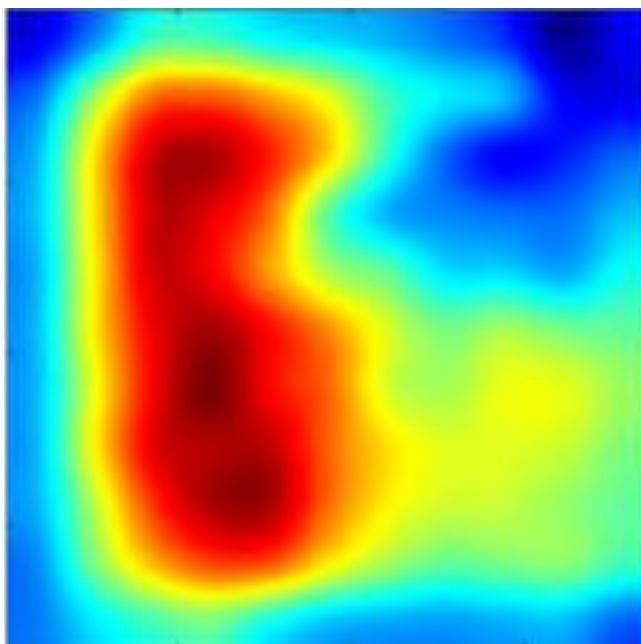


Рис. 34. Інфрачервона картинка



Рис. 35. Зображення, комплексване з рис. 33 та рис. 34

За допомогою цієї технології можна і просто оцінювати стан газопроводів. Приклад на рисунках рис. 36, рис. 37 та рис. 38.



Рис. 36. RGB картинка

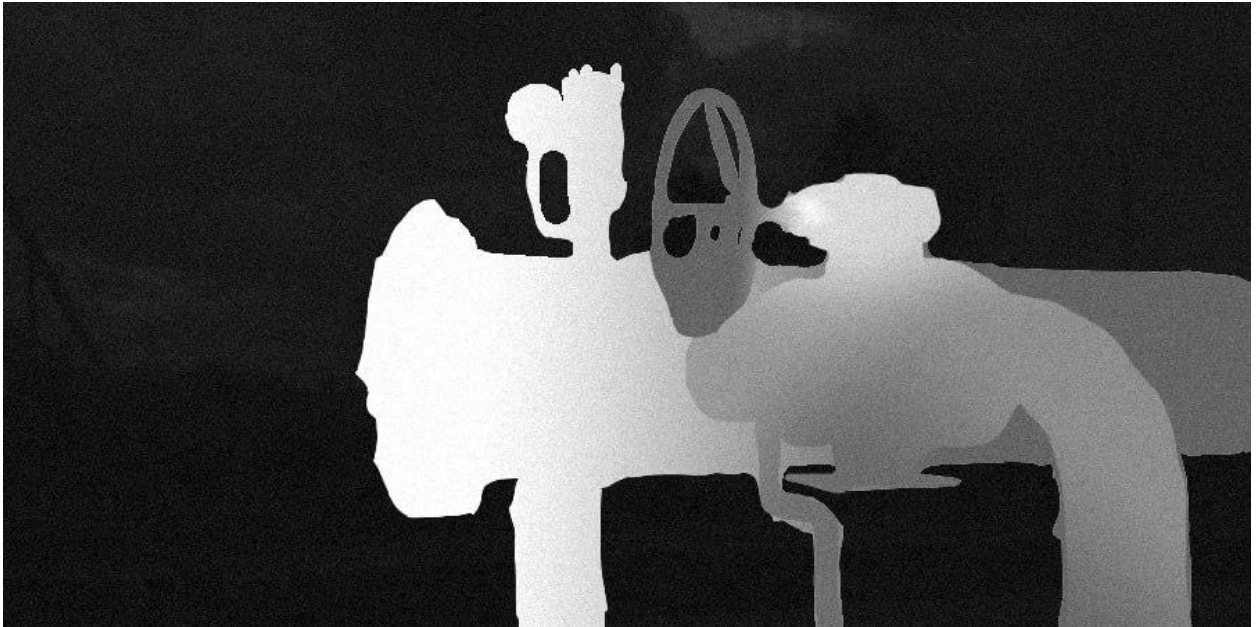


Рис. 37. Інфрачервона картинка



Рис. 38. Зображення, комплексоване з рис. 36 та рис. 37

З цих фотографій можна побачити, як інформативність з RGB фотографії та інфрачервоної фотографії поєднуються і через це стає видно деталі, які знадобляться при оцінці стану труби або аварії.

Також, на рисунку рис. 39 зображено алгоритм роботи програми. Зображення алгоритму спрямовано на те, щоб краще розуміти роботу програми.



Рис. 39. Алгоритм роботи програми

3.3 Підбір комплектуючих

Розділ визначає стратегію вибору ключових елементів системи. Процес підбору комплектуючих базується на комплексному аналізі технічних вимог та функціональних характеристик проекту. Розглядаються критерії вибору постачальників, аналіз якості та технічних параметрів компонентів, а також їхні взаємодії для досягнення оптимальної сумісності [30].

У цьому розділі буде проведений огляд ринку комплектуючих, визначені основні технічні вимоги до них та розглянуті критерії вибору. Аналіз конкретних характеристик та можливостей комплектуючих, врахування їхнього впливу на загальну продуктивність системи, дозволить забезпечити високу якість та ефективність проекту.

3.3.1 БПЛА

В якості бази для системи було обрано БПЛА DJI Matrice 300 RTK [31, 32].



Рис. 40. Зображення БПЛА

Такий вибір БПЛА обґрунтовано кількома ключовими перевагами:

1. Носійна здатність та розміри: модель може нести значну кількість обладнання, що важливо для інтеграції різноманітних сенсорів, таких як оптичні та газові детектори.

2. Дальність польоту: здатність працювати на великій відстані (до 15 км) робить його ефективним для огляду великих територій, що є важливим для виявлення витоків на газопроводах.

3. Живлення: літій-полімерна акумуляторна батарея забезпечує тривалий час польоту, що важливо для продовженого моніторингу.

4. Інтеграція з сенсорами: висока ступінь інтеграції дозволяє просто підключати та використовувати різноманітні сенсори, що включає теплові та газові сенсори для виявлення витоків газу.

5. Системи передачі даних: підтримка передових систем передачі даних забезпечує ефективну та швидку обробку та передачу інформації.

6. Стійкість до негоди: модель має високий рівень захисту від негоди та вологості, що робить його придатним для роботи в різних погодних умовах.

Враховуючи ці параметри, DJI Matrice 300 RTK вважається потужним та надійним рішенням для виявлення витоків на газопроводах за допомогою БПЛА.

3.3.2 Інфрачервоний та телевізійний об'єктиви

Інфрачервоний та телевізійний об'єктиви були розраховані та зпроектовані у програмі Zemax. Також ці об'єктиви були зображені на кресленні, яке представлено у Додатку [33].

Для телевізійного об'єктиву був обраний матричний приймач Hamamatsu S9736-01.

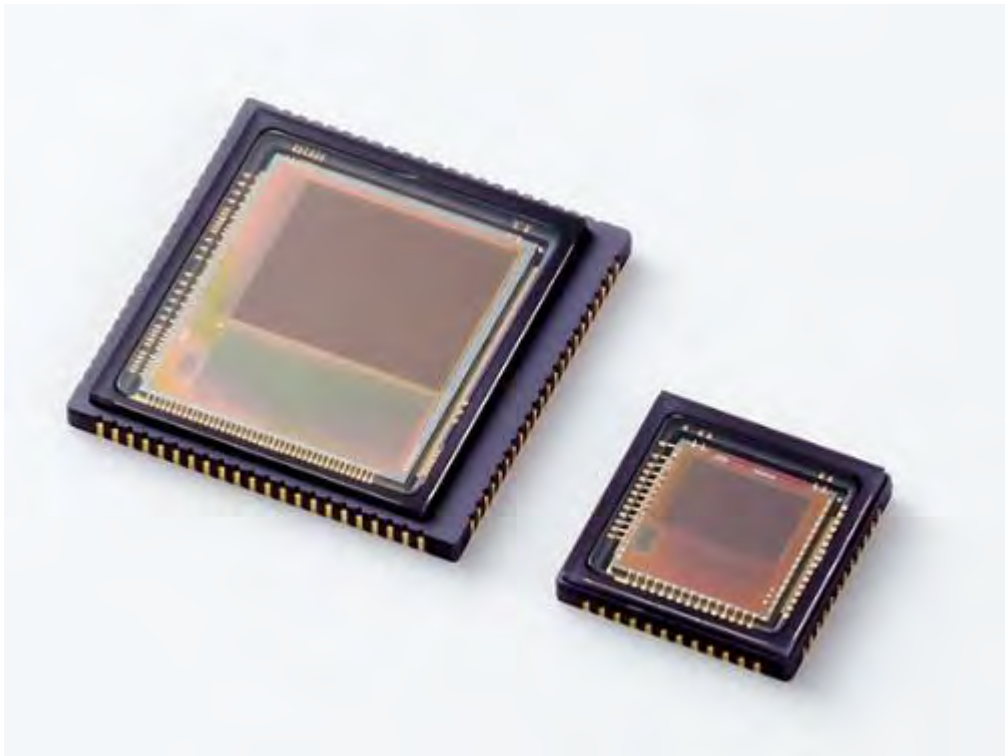


Рис. 41. Зображення матричного приймача для тепловізійного об'єктиву

Його обрано з наступних причин:

1. Чутливість. Матричний приймач Hamamatsu S9736-01 відзначається високою чутливістю, що дозволяє ефективно реєструвати світловий сигнал і забезпечує якісне зображення для тепловізійного об'єктива.

2. Роздільна здатність. Висока роздільна здатність матриці допомагає отримати чітке та деталізоване відео, що важливо для ефективного виявлення та відображення об'єктів на газопроводах.

3. Динамічний Діапазон. Матричний приймач забезпечує широкий динамічний діапазон, що дозволяє відтворювати як темні, так і яскраві області на зображенні, що є важливим для точного відображення сцени.

4. Висока Швидкодія. Здатність матричного приймача оперативно перетворювати світловий сигнал у відео забезпечує високу швидкодію та можливість отримувати зображення в реальному часі.

5. Надійність та Сумісність. Hamamatsu відомий своєю надійністю, а вибір такого виробника гарантує високу якість та довговічність приладу.

Крім того, матричний приймач легко інтегрується з існуючими системами обробки даних і контролю.

Обрана модель матричного приймача відповідає вимогам проекту та забезпечує ефективну та надійну роботу телевізійного об'єктива.

Його характеристики наступні:

■ Electrical and optical characteristics (Ta=25 °C, unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Remark	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Saturation output voltage	Vsat	-	-	Fw × Sv	-	V	
Full well capacity	Vertical	Fw	-	150	300	-	ke ⁻
	Horizontal						
CCD node sensitivity	Sv	*4	-	3.5	-	μV/e ⁻	
Dark current (MPP mode)	+25 °C	DS	*5	-	200	3000	e ⁻ /pixel/s
	0 °C			-	10	150	
	-70 °C			-	0.001	0.01	
Readout noise	Nr	*6	-	4	18	e ⁻ rms	
Dynamic range (Area scanning)		*7	-	75000	-	-	
Spectral response range	λ	-	-	400 to 1100	-	nm	
Photo response non-uniformity	PRNU	*8	-	-	±10	%	
Blemish	Point defects	-	-	-	0	-	
	Cluster defects	-	-	-	0		
	Column defects	-	-	-	0		

*4: V_{OD}=20 V, Load resistance=22 kΩ

*5: Dark current nearly doubles for every 5 to 7 °C increase in temperature.

*6: -40 °C, operating frequency is 80 kHz.

*7: DR = Fw / Nr

*8: Measured at half of the full well capacity. PRNU = noise / signal × 100 [%], noise: fixed pattern noise (peak to peak)

*9: White spots > 3 % of full well at 0 °C after Ts=1 s, Black spots > 50 % reduction in response relative to adjacent pixels

*10: A group of 2 to 9 continuous point defects

*11: A group of 10 or more continuous point defects

Рис. 42. Характеристики матричного приймача

Для інфрачервоного об'єктива був обраний матричний приймач GST417M.

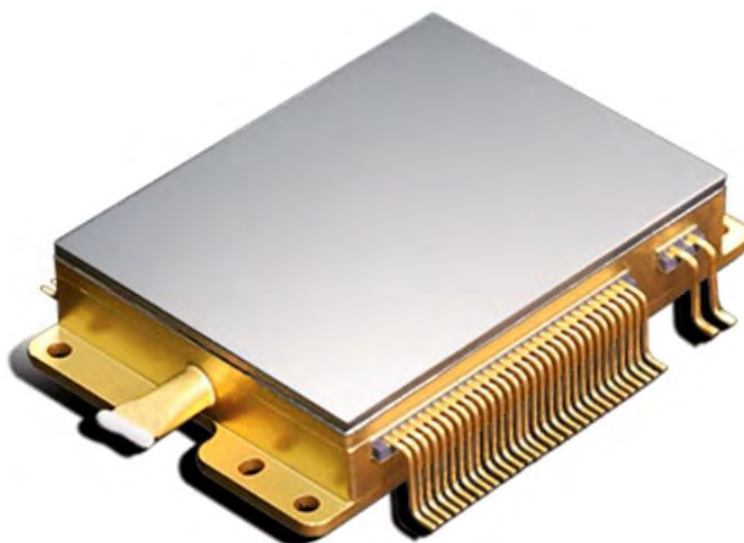


Рис. 43. Зображення матричного приймача для інфрачервоного об'єктива

Його обрано з наступних причин:

1. Широкий Спектральний Діапазон. Матричний приймач GST417M призначений для роботи в інфрачервоному спектральному діапазоні, що важливо для виявлення теплових випромінювань на газопроводах.

2. Висока Роздільна Здатність. Модель GST417M має високу роздільну здатність, що дозволяє отримувати чітке та деталізоване зображення інфрачервоного поля.

3. Чутливість до Температурних Змін. Висока чутливість приймача до температурних змін дозволяє ефективно реєструвати витoki газів, які можуть супроводжуватися змінами температури.

4. Низький Рівень Шуму. Матричний приймач GST417M відзначається низьким рівнем шуму, що дозволяє отримувати високоякісні зображення навіть при слабких сигналах.

5. Висока Швидкодія. Швидкодія приймача дозволяє отримувати дані в реальному часі, що важливо для ефективного виявлення витоків та оперативного реагування.

6. Сумісність та Інтегрування. Обрана модель відповідає вимогам проєкту і легко інтегрується з існуючими системами обробки даних та контролю.

Обрана модель GST417M відповідає усім технічним вимогам для інфрачервоного об'єктива та забезпечить ефективне функціонування в складі системи виявлення витоків газів.

Його характеристики представлені нижче:

Model	GST417M
Sensitive Material	Vanadium Oxide
Resolution	400x300
Pixel Size	17 μ m
Spectral Range	8-14 μ m
Typical NETD	<30mK
Digital Output	Built-in 14 bit ADC
Thermal Time Constant	<12ms
Max Frame Rate	50Hz
Power Consumption	\leq 250mW
Size (mm)	30x19.8x7.32 (Without Pin Size)
Weight	<15g
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C

Рис. 44. Характеристики матричного приймача

3.3.3 Мультиплексор

Проаналізувавши різні варіанти, було обрано мультиплексор ADS1263 від Texas Instruments.



Рис 45. Мультиплексор ADS1263 від компанії Texas Instruments

Основні переваги:

1. Висока Роздільна Здатність. ADS1263 забезпечує роздільну здатність до 32 біт, що дозволяє отримувати деталізовані та точні вимірювання.
2. Висока Частота Зразка. Має високу частоту зразка, що важливо для реалізації високошвидкісних вимірювань в реальному часі.
3. Низький Рівень Шуму. Забезпечує низький рівень шуму, що важливо для вимірювань при слабких сигналах.
4. Широкий Діапазон Робочих Температур. Має стабільну роботу в широкому діапазоні температур, що робить його стійким до змін у робочих умовах.
5. Сумісність із Мікроконтролерами. Легко інтегрується та взаємодіє із мікроконтролерами, що дозволяє зручно обробляти та передавати дані.

Обрання цього мультиплексора обумовлено його високими технічними характеристиками, які відповідають вимогам проєкту та забезпечують точні та надійні вимірювання.

Його характеристики:

- Роздільна здатність: До 32 біта.
- Частота зразка: До 38 кГц.
- Напруга живлення: Від 2.7V до 5.3V.
- Інтерфейс: SPI (Serial Peripheral Interface).
- Шуми: Дуже низький рівень шумів, що дозволяє отримувати точні дані.
- Температурний діапазон: Робочий температурний діапазон від -40°C до +125°C.
- Вбудований внутрішній опір вхідного каналу: 2 ГОм.
- Забезпечення самокалібрування: Вбудована система автокалібрування для забезпечення точності вимірювань.

- Інші функції: Вбудований таймер, який полегшує синхронізацію зразків.

Ці характеристики роблять мультиплексор ADS1263 відмінним вибором для вимірювань у проєкті, забезпечуючи високу роздільну здатність та низькі шуми при роботі в різноманітних умовах.

3.3.4 Регістр зсуву

Для цієї системи був підібраний регістр зсуву SN74LV164A від Texas Instruments.



Рис. 46. Регістр зсуву SN74LV164A від Texas Instruments.

Його основні переваги перед іншими варіантами:

1. Швидкість передачі даних. SN74LV164A забезпечує швидкість передачі даних до 50 МГц, що важливо для ефективної обробки великої кількості даних у реальному часі.
2. Напруговий діапазон. Підтримка напругового діапазону від 2V до 5.5V робить його сумісним з різними джерелами живлення та забезпечує гнучкість в системі.
3. Температурний діапазон. Робочий температурний діапазон від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$ гарантує стабільну роботу в різноманітних кліматичних умовах.

4. Захист від зворотного підключення. Наявність захисту від зворотного підключення покращує надійність системи та зменшує ризик пошкодження елементів.

5. Функції заощадження енергії. Вбудовані функції заощадження енергії дозволяють оптимізувати споживання енергії, що є важливим аспектом для безперервної роботи системи.

Характеристики регістра зсуву:

- Кількість біт: 8 біт.
- Напруга живлення: Від 2V до 5.5V.
- Інтерфейс: Parallel-In/Serial-Out (Паралельний вхід/серійний вихід).
- Швидкість передачі даних: До 50 МГц.
- Температурний діапазон: Робочий температурний діапазон від -40°C до +125°C.
- Функції заощадження енергії: Зниження споживаної енергії в режимах очікування.
- Інші функції: Захист від зворотного підключення, що поліпшує надійність роботи.

Регістр зсуву SN74LV164A відповідає вимогам проєкту, забезпечуючи швидку передачу даних, роботу в широкому температурному діапазоні та захист від зворотного підключення.

3.3.5 Аналогово-цифровий перетворювач

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) MAX11270 від Maxim Integrated обраний для проєкту з наступних причин:

1. Роздільна здатність. MAX11270 має високу роздільну здатність 24 біти, що дозволяє отримувати деталізовані та точні вимірювання.

2. Швидкість зчитування. Здатність до зчитування даних зі швидкістю до 64 кадрів в секунду дозволяє ефективно вимірювати сигнали в реальному часі.

3. Широкий діапазон напруг. Діапазон вимірювань від 0 до 3.6V робить його універсальним для різних датчиків та сенсорів.

4. Низьке споживання енергії. Оптимізоване споживання енергії дозволяє використовувати його в системах, де важлива ефективність енергоспоживання.

5. Інтерфейси зв'язку. Має інтерфейс SPI, що спрощує інтеграцію в систему та обмін даними з мікроконтролером чи іншими пристроями.

Ці характеристики роблять MAX11270 відмінним вибором для точних та ефективних вимірювань у вашому проекті.



Рис. 47. Аналогово-цифровий перетворювач MAX11270 від Maxim Integrated

3.3.6 Мікроконтролер

Мікроконтролер STM32F407VGT6 вибраний для проекту з наступних причин:

1. Висока продуктивність. Мікроконтролер STM32F407VGT6 використовується в сучасних системах з високими вимогами до продуктивності, оскільки має вбудований ядро Cortex-M4F з тактовою частотою до 168 МГц.

2. Багатофункціональність. Має широкий спектр периферійних пристроїв, таких як USB, UART, SPI, I2C, а також апаратне забезпечення для реалізації обчислювально-інтенсивних завдань.

3. Розширені можливості зв'язку. Підтримка різноманітних протоколів зв'язку, таких як CAN і Ethernet, робить його ідеальним для використання в системах автоматизації та зв'язку.

4. Наявність вбудованої пам'яті. Має великий обсяг вбудованої Flash-пам'яті (від 512 КБ до 1 МБ) та оперативної пам'яті (192 КБ), що важливо для збереження програмного забезпечення та обробки даних.

5. Надійність виробника. STM32 є виробником з доброю репутацією, і їхні мікроконтролери широко використовуються у світі вбудованих систем.

6. Спільнота та ресурси. Існує активна спільнота розробників і різноманітні ресурси для розробки на платформі STM32, що полегшує роботу з цим мікроконтролером.

Вибір STM32F407VGT6 забезпечить високу продуктивність та розширені можливості для реалізації функціональності для проекту.



Рис. 48. Мікроконтролер STM32F407VGT6

Висновок до розділу 3

У розділі "Розробка програмного забезпечення та підбір комплектуючих для тепловізійної системи" проведено вирішальний етап розробки, спрямований на досягнення високої ефективності та розширених можливостей нашого стартап-проєкту. Обрано мову програмування Python та середовище розробки Visual Studio Code, що створює оптимальні умови для створення високоякісного програмного забезпечення.

Одним із ключових завдань було уважне відібрання комплектуючих для системи, таких як БПЛА, матричні приймачі, мультиплексори та інші. Враховуючи технічні вимоги та взаємодію компонентів, ми обрали ті, що відповідають високим критеріям ефективності та надійності. Обрані компоненти гарантують оптимальну сумісність та забезпечують надійну та ефективну роботу тепловізійної системи для виявлення витоків на газопроводах.

Цей етап розробки визначає важливий крок у напрямку досягнення високого рівня функціональності та конкурентоспроможності проєкту на ринку. Ретельна робота дозволяє створити технологічно вдосконалену тепловізійну систему, яка відповідає вимогам сучасного ринку та може ефективно використовуватися для виявлення витоків на газопроводах

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

У цьому розділі розглядається концепція пускового проекту автоматизованої двоканальної системи виявлення витоків у газопроводах за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Розглядається можливість виведення цього продукту на ринок і оцінюються його переваги та можливі ризики під час впровадження.

Основною ідеєю проекту стартапу є розробка автоматизованої системи, що використовує два канали для виявлення витоків у газопроводах за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Мета – підвищити ефективність і точність виявлення потенційних проблем у газопроводах.

4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту

Проект – Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА. Система використовує теплові зображення та алгоритми для ідентифікації аномалій, пов'язаних з можливими витокami газу. Мета проекту – підвищення безпеки в газотранспортних системах шляхом автоматичного виявлення та реагування на потенційно небезпечні об'єкти, що допомагає уникнути трагічних наслідків [34].

Таблиця 4.1 - Інформаційна карта стартап-проєкту

Назва блоку	Характеристика
1	2
Загальна характеристика стартап-проєкту	
Назва стартаппроєкту	Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА.
Проблематика, яку вирішує стартаппроєкт	Дозволяє знаходити газовитоки в складних місцях, відносно швидко та чітко.
Головні цілі та завдання проєкту	Розробка та впровадження системи для виявлення витоків на газопроводах з використанням безпілотних літальних апаратів.
Головні цільові групи, на які спрямований проєкт	Головні цільові групи проєкту: оператори газопроводів, служби безпеки, технічні підрядники та екологічні організації.
Автори та команда стартап-проєкту	
Автори стартаппроєкту	Ісадченко Богдан Олександрович
Команда стартаппроєкту	Ісадченко Богдан Олександрович
Опис продукту стартап-проєкту	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	Назва MVP: "LeakGuard". Коротка характеристика: Автоматизована система для виявлення витоків на газопроводах з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), забезпечуючи швидко та точно виявлення потенційних небезпек.
Сфера застосування та функціональне призначення продукту	Сфера застосування: газопроводи. Функціональне призначення: автоматизована система для виявлення витоків газу з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Унікальні властивості: двоканальна система, виявлення витоків на газопроводах, використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для автоматизації.
Стадія розробки продукту стартапу	Стадія розробки: тестування та оптимізація.

1	2
Технічні характеристики	Технічні характеристики: мультиспектральне комплексування, точність виявлення витоків, автоматизована система контролю.
Супровід продукту	Супровід продукту: постійна підтримка, оновлення програмного забезпечення, технічна допомога.
Забезпечення стартап-проєкту	
Необхідні ресурси	Необхідні ресурси: БПЛА, сенсори виявлення витоків, програмне забезпечення, команда експертів.
Потреба в інвестиціях	Потреба в інвестиціях: для виробництва та впровадження системи, маркетингу та досліджень
Інтелектуальна власність	Інтелектуальна власність: Заявлені патенти на технології виявлення витоків та автоматизації системи.
Результати стартап-проєкту	
Термін реалізації стартап-проєкту	Термін реалізації стартап-проєкту: 12 місяців.
Плановані кількісні показники стартап-проєкту	Плановані кількісні показники стартап-проєкту: виявлення витоків з точністю 95%, облаштування 50 об'єктів щомісяця.
Якісні показники стартап-проєкту	Якісні показники стартап-проєкту: надійність виявлення витоків, ефективна інтеграція з існуючими системами, мінімальні помилки у визначенні місця витоку.
Загальні очікувані результати	Загальні очікувані результати: підвищення безпеки газопроводів, швидке та точне виявлення витоків, оптимізація обліку газу, зменшення екологічних ризиків.

Таблиця 4.2. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА	1.Визначення витоків газу	Своєчасне визначення та лагодження поламки для мінімізації збитків
	2.Сканування стану труб, по яких тече газ	Перевірка стану труб для своєчасної заміни їх на нові, для запобігання аварій

У даній таблиці наводиться огляд концепції стартап-проекту та потенційних сегментів ринку, де можна знаходити майбутніх споживачів цієї системи. Основні сценарії застосування цієї ідеї включають в себе впровадження двоканальної тепловізійної системи як для точного та швидкого знаходження аварії, з подальшою ліквідацією наслідків, так і для діагностики труб, щоб своєчасно проводити ремонт та заміну застарілих моделей. Користувачі отримують значущі переваги, такі як значне зменшення аварій.

Наступним етапом був проведений аналіз потенційних техніко-економічних переваг цієї концепції порівняно з пропозиціями конкурентів. Проведено визначення конкурентного положення, розгляд відмінностей, переваг та недоліків кожної конкурентної пропозиції. Отримані результати дослідження представлені у Таблиці 4.2.

Таблиця 4.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	FLIR Systems	Fluke Corporation	Hikvision			
1.	Вартість	\$2,000 - \$9,000	\$2,000 - \$10,000	\$2,500 - \$12,000	\$1,500 - \$8,000			+
2.	Автоматизація	+	-	-	+			+
3.	Мультиспектральне комплексування	+	-	-	-			+
4.	Віддалений температурний скринінг	+	+	-	+		+	+
5.	Збереження результатів контролю	+	-	+	-		+	+
6.	Вимірювання в складних місцях	+	-	-	-			+

Отже, як вказано в таблиці, було проведено детальний аналіз техніко-економічних властивостей та характеристик кожної пропозиції, визначено переваги та недоліки як для даного стартап-проекту, так і для конкурентів. Результати показали, що ця система виявляється значно більш доступною, ніж аналоги на ринку. Вона також володіє мультиспектральним комплексуванням, відсутнім у жодного з конкурентів, можливістю вимірювання в важкодоступних місцях.

Далі був проведений аудит технологій, необхідних для втілення ідеї проекту. Для оцінки реалізованості цієї концепції було ретельно проаналізовано складові, які відображені в Таблиці 4.3.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА	Збір системи для продажу, по можливості використовуючи деталі, виготовлені власноруч	Є в наявності	Є в доступі
		Розробка програмного забезпечення своїми силами	Є в наявності	Є в доступі
		Залучення фріланс розробників для подальшої модернізації програмного забезпечення.	Є в наявності	Є в доступі
Обрана технологія реалізації ідеї проекту:				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект може мати різну вартість через те, що можна залучати до системи різні компоненти. Якщо замовник бажає більш кращу модель, де залучено якісніші комплектуючі(замовлені з інших країн) та досконаліше програмне забезпечення(замовлене у фріланс розробників). Або якщо замовника турбує ціна приладу, то можна зробити деталі і програмне забезпечення своїми силами.

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту

Визначимо перспективи на ринку, які можуть бути максимально використані при впровадженні нашого проекту, а також ідентифікуємо потенційні загрози, що можуть стати перешкодою його успішній реалізації. Це аналіз покликаний дозволяє здійснити глибше розуміння динаміки ринкового середовища та визначити стратегії для оптимального розвитку.

Оцінка ринкових можливостей включає в себе аналіз попиту на подібні продукти чи послуги, ідентифікацію цільової аудиторії, аналіз конкурентів та

їхніх слабких сторін, а також визначення ключових трендів, які можуть впливати на ринок.

З іншого боку, аналіз ринкових загроз передбачає ідентифікацію факторів, які можуть негативно впливати на успішність проекту. Це може бути зміна в законодавстві, велика конкуренція, технологічні ризики чи економічні коливання.

Всецільний підхід до аналізу дозволяє належним чином визначити потенційні можливості для виходу на ринок та розробити стратегії для зменшення ризиків та максимізації успіху проекту.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	80000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Швидке зростання
4	Наявність обмежень для входу	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Треба отримати сертифікат для використання як БПЛА
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	87%

Отже, проведений аналіз попиту вказує на швидкий ріст цього ринку, що сприяє збільшенню обсягу попиту та зростанню обсягів продажів. Також виявлено, що для успішної реалізації даного проекту, ймовірно, необхідно отримати сертифікацію для використання як БПЛА.

Наступним етапом є визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристик і формування переліку вимог до товару для кожної групи клієнтів, що подано у Таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Виявлення витоків газу	Промислові підприємства, газотранспортні компанії	Постійний моніторинг на промислових об'єктах, транспортних газопроводах	Швидкість виявлення витоків, можливість дистанційного керування
2	Автоматизований контроль газопроводів	Енергетичні компанії, місцеві газопостачальники	Використання для ефективного контролю і управління газопроводами	Висока точність виявлення витоків, автоматичний аналіз даних
3	Моніторинг газопостачання в міських районах	Муніципалітети, газові служби	Забезпечення безпечного та ефективного газопостачання на муніципальному рівні	Система оповіщення, можливість інтеграції з мережами безпеки
4	Превентивне обслуговування газового обладнання	Виробничі об'єкти, комерційні будівлі	Використання для попередження аварій та забезпечення надійності газового обладнання	Можливість планового обслуговування, віддалений моніторинг

Аналіз потенційних клієнтів стартап-проекту "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" вказує на широкий спектр ринкових можливостей. Ця система може знайти застосування на промислових підприємствах, газотранспортних компаніях, енергетичних компаніях та в муніципальних газових службах. Різноманітні вимоги споживачів, такі як швидкість виявлення витоків, автоматичний аналіз даних та можливість віддаленого керування, визначають

ключові характеристики, які система повинна володіти для задоволення потреб різних клієнтських груп.

Необхідно також узяти до уваги потенційні небезпеки, що можуть виникнути при використанні даної технології. Без урахування цих аспектів стає неможливим об'єктивно оцінювати перспективи введення на ринок та належним чином реагувати на можливі майбутні проблеми (Таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Технічні проблеми з БПЛА	Несправність або відмова беспілотного літального апарату	Систематичні технічні огляди та обслуговування; навчання персоналу для екстрених ситуацій.
2.	Непередбачені погодні умови	Погіршення погодних умов, що може вплинути на функціонування БПЛА	Аналіз і прогнозування погодних умов; розробка систем аварійного припинення роботи при поганих погодних умовах.
3.	Конкуренція на ринку	Поява нових конкурентів з аналогічними технологіями	Удосконалення технічних характеристик; розробка маркетингових стратегій.
4.	Зміни в законодавстві	Зміни в вимогах щодо використання БПЛА	Моніторинг законодавчих змін; співпраця з владними органами для внесення пропозицій.
5.	Економічні труднощі замовників	Фінансові труднощі у сфері експлуатації систем для виявлення витоків	Пошук нових ринків збуту; розробка гнучкої системи ціноутворення.
6.	Виток інформації про технології	Потенційний ризик незаконного використання технічної інформації	Впровадження заходів з інтелектуальної власності; контроль над доступом до конфіденційної інформації.
7.	Активізація терористичних груп	Можливість використання технології для здійснення терористичних атак	Співпраця з правоохоронними органами; розробка системи безпеки та обмежень використання.

Проведений аналіз факторів загроз дозволяє визначити потенційні ризики та зазначити можливі реакції компанії на них. Зокрема, систематичні

технічні огляди, удосконалення технічних характеристик, співпраця з владними органами та розробка стратегій адаптації дозволять зменшити вплив негативних факторів та забезпечити стійке функціонування автоматизованої системи для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА на ринку.

Аналіз факторів можливостей визначає ключові перспективи та переваги, які може використати проект для успішного впровадження на ринку. (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Технологічний прогрес	Розвиток нових технологій для поліпшення ефективності системи виявлення витоків газу.	Впровадження інновацій та оновлення технічних рішень
2.	Ринковий попит	Зростання попиту на автоматизовані системи виявлення витоків з газопроводів.	Розширення ринкових стратегій та збільшення обсягів виробництва.
3.	Законодавча підтримка	Підтримка владних структур та законодавчих ініціатив для покращення безпеки газопостачання.	Активна участь у впровадженні нових стандартів та відповідності законодавству.
4.	Співпраця з іншими галузями	Можливість партнерства з іншими секторами для розширення функціональності системи.	Встановлення стратегічних партнерств для створення комплексних рішень.

Таблиця 4.4 визначає ключові фактори можливостей для автоматизованої двоканальної системи виявлення витоків на газопроводах з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Реакція компанії включає в себе впровадження інновацій в технологічному аспекті,

розширення ринкових стратегій, активну участь у впровадженні стандартів безпеки, встановлення стратегічних партнерств та адаптацію світових тенденцій у використанні БПЛА для поліпшення функціональності системи.

Таблиця 4.9 присвячена ступеневому аналізу конкуренції на ринку. В ній представлено оцінку впливу ключових факторів, що визначають конкурентоспроможність учасників ринку.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Зростання попиту на автоматизовані системи виявлення витоків	Збільшення обсягу ринку та можливість привертання нових клієнтів	Розширення виробничих потужностей, маркетингові кампанії для привертання клієнтів
Висока технологічна складність конкурентів	Конкуренти випускають складніші та функціональніше обладнання	Зосередження на дослідженнях та розвитку нових технологій, що перевершують конкурентів
Низька цінова конкуренція	Зменшення цін на ринку та конкуренція за ціновими показниками	Оптимізація виробництва, вдосконалення процесів для зниження витрат
Законодавчі обмеження та стандарти в галузі	Вимоги до дотримання стандартів та законодавства у сфері автоматизації	Співпраця з органами регулювання, вдосконалення виробничих процесів з урахуванням стандартів
Зростання екологічних та етичних вимог споживачів	Збільшення уваги споживачів до екологічних та етичних аспектів продукції	Розробка та впровадження екологічно чистих технологій, підвищення стандартів виробництва

Зростання попиту, технологічна складність конкурентів та законодавчі вимоги визначають потребу у стратегіях розвитку, оптимізації та співпраці з органами регулювання. Компанія повинна активно адаптуватися до змін в екологічних та етичних стандартах, щоб забезпечити конкурентоспроможність на ринку.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Оцінка рівня конкуренції та домінування існуючих гравців на ринку.	Визначення можливостей для нових учасників на ринку та їх можливого впливу.	Аналіз важливих постачальників та визначення їх впливу на ціни та якість.	Визначення, наскільки залежність від окремих клієнтів може впливати на бізнес.	Оцінка можливостей конкурентів та можливих замінників на ринку.
Висновки:	Компанія "XYZ Tech", Компанія "TechGAS Control"	Стартап "AeroLeaks"	Виробник БПЛА "New Horizon", Постачальник сенсорів "Tech Sensors", Виробник енергонаповнювачів "PowerTech"	Організації з підтримки газопроводів, Газопровідні компанії	Системи моніторингу стану обладнання

Аналіз конкурентного середовища для проекту "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" вказує на середню конкурентну інтенсивність. Знання сильних і слабких сторін, загроз та можливостей дозволяє ефективно керувати бізнес-процесами і забезпечити конкурентоспроможність в ринковому середовищі.

"Обґрунтування факторів конкурентоспроможності" надає вичерпний огляд ключових елементів, які визначають успішність нашого проекту в конкурентному середовищі. Цей аналіз допоможе зрозуміти, як вдосконалити

фактори, що впливають на конкурентоспроможність та досягти стратегічних цілей.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Технічна інноваційність	Наш проект використовує передові технології, що дозволяє нам виокремитися від конкурентів.
2	Вартість продукту	Ми пропонуємо конкурентоспроможні ціни при високому рівні якості та функціональності.
3	Екологічна дружність	Проект орієнтований на зменшення впливу на навколишнє середовище, що є перевагою в сучасному ринковому середовищі.
4	Система підтримки клієнтів	Наша компанія пропонує ефективну та оперативну підтримку, забезпечуючи задоволення клієнтів на високому рівні.
5	Гнучкість та адаптивність	Ми швидко реагуємо на зміни в ринкових умовах та можемо швидко вдосконалювати продукт відповідно до потреб клієнтів.

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	17		+					
2	Велика кількість постачальників	15				+			
3	Висока якість	16	+						
4	Технічна підтримка	14		+					
5.	Ціна	17						+	

З аналізу таблиць 4.11 та 4.12 видно, що фактори конкурентоспроможності виявилися значущими та відзначаються великим позитивним внеском при низькій ціні та гнучкості використання. Основною перевагою та ключовим досягненням є висока якість продукту та надання

технічної підтримки на протязі усього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Висока якість продукту. 2.Ефективна технічна підтримка протягом усього терміну експлуатації. 3.Інноваційні технології. 4.Команда з досвідом та експертизою у галузі. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Обмежений бюджет для маркетингу та реклами. 2.Залежність від постачальників ключових компонентів. 3.Відсутність широкого розповсюдження бренду. 4.Потреба в удосконаленні інтерфейсу користувача.
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Рост попиту на ринку нових програмних рішень. 2.Збільшення світового інтересу до екологічних технологій. 3.Розширення продуктової лінійки для включення нових функцій. 4.Партнерство з ключовими гравцями ринку для спільного розвитку проектів. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Зростання конкуренції в галузі. 2.Зміни в законодавстві, що можуть вплинути на ринковий доступ. 3.Технічні труднощі при впровадженні нових функцій. 4.Негативний вплив економічних факторів на покупкоспроможність

SWOT-аналіз стартап-проекту підкреслив його значущі сильні сторони, такі як висока якість продукту та ефективна технічна підтримка. Однак, проект стикається з викликами, такими як обмежений бюджет на маркетинг та рекламу та залежність від постачальників. Можливості для росту включають збільшення попиту на ринку програмних рішень та можливість розширення продуктової лінійки. Однак існують загрози високої конкуренції та негативного впливу змін в законодавстві. Враховуючи ці аспекти, стартап повинен стратегічно використовувати свої сильні сторони для максимізації можливостей та ефективно протистояти загрозам та слабким сторонам.

В Таблиці 4.14 аналізуються альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка та впровадження інноваційного програмного забезпечення для системи виявлення витоків на газопроводах з використанням БПЛА.	Висока	12 місяців
2	Партнерство з ключовими гравцями газової промисловості для спільної розробки та впровадження системи виявлення витоків.	Середня	18 місяців
3	Введення стартап-проекту на ринок через етапне впровадження з пілотними проектами у співпраці з обраною газовою компанією.	Висока	24 місяці
4	Розробка та масштабування системи для виявлення витоків на газопроводах, спрямованого на різні галузі (не лише газова промисловість).	Середня	36 місяців

Аналізуючи всі переваги та недоліки, можливості та загрози впровадження стартап-проекту, можна зробити висновок, що ключовими стратегіями отримання ресурсів є використання сильних сторін проекту для нейтралізації ринкових загроз, отримання державного замовлення та залучення інвестицій для глобального ринкового виходу. Ці альтернативи є високовірогідними, а строки їхньої реалізації є оптимальними.

4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Спочатку, для розробки ринкової стратегії, необхідно визначити стратегію охоплення ринку, що включає опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Великі промислові підприємства з газопроводами	Висока	Високий	Середня	Складна
2	Місцеві газоспоживачі в житловому секторі	Середня	Середній	Низька	Легка
3	Газопровідні компанії та підприємства у сфері енергетики	Висока	Високий	Висока	Складна
4	Агропромислові підприємства з власними газопроводами	Середня	Середній	Середня	Легка
5	Газорозподільні підприємства регіонального масштабу	Висока	Високий	Висока	Складна
<p>Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів були вибрані підприємства, де є наявності газопроводи.</p>					

Аналізуючи цільові групи потенційних клієнтів, виявлено різні рівні готовності, попиту, конкуренції та складності входу у сегменти ринку. Великі промислові підприємства та газорозподільні компанії мають високий рівень готовності та попиту, але також стикаються із значною конкуренцією та складністю входу. Місцеві газоспоживачі в житловому секторі представляють середні показники у всіх аспектах, зробивши їх привабливим сегментом для впровадження. Агропромислові підприємства та газорозподільні підприємства регіонального масштабу також показують потенціал для успішного впровадження, але вимагають уважного управління конкуренцією та стратегічним підходом.

У Таблиці 4.16 визначено варіант розвитку продукту, який передбачає підвищення його точності. Основною стратегією охоплення ринку вибрано диференційований маркетинг.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підвищення точності продукту	Диференційований маркетинг	Покращена точність виявлення витоків, Технологічна передовість	Розширення функціональності
2	Розширення функціональності продукту	Цільовий маркетинг	Розширені можливості виявлення та аналізу витоків	Диференціація за характеристиками
3	Вдосконалення системи безпеки	Загальний маркетинг	Підвищена надійність та захищеність від несанкціонованого доступу	Збільшення безпеки та надійності
4	Розширення географії ринкового впровадження	Загальний маркетинг	Покриття нових регіональних ринків	Розширення ринкового обсягу

Обрані альтернативи розвитку проекту включають підвищення точності продукту, розширення функціональності, вдосконалення системи безпеки та розширення географії ринкового впровадження. Застосування диференційованого маркетингу, цільового маркетингу та загального маркетингу відображає стратегії охоплення ринку. Кожна альтернатива має свої ключові конкурентоспроможні позиції, що сприяють визначенню базової стратегії розвитку, такої як розширення функціональності, диференціація та збільшення безпеки та надійності продукту.

Далі необхідно визначити, яка стратегія конкурентної поведінки буде обрана, що відображено в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» 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	Шукати нових споживачів	Ні	Диференційована

Результати визначення базової стратегії конкурентної поведінки вказують на те, що проект не є першопрохідцем на ринку, але спрямований на пошук нових споживачів. Він не планує копіювати основні характеристики товару конкурента, а вибрав стратегію диференційованої конкуренції. Такий підхід може сприяти створенню унікальних пропозицій для цільових споживачів та підвищити конкурентоспроможність на ринку.

На підставі вимог споживачів у вибраному сегменті до постачальника та продукту, а також враховуючи стратегію розвитку і конкурентну поведінку, розробляється стратегія позиціонування. Ця стратегія визначає формування ринкової позиції, яку споживачі повинні ідентифікувати з проектом.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Підвищена точність виявлення витоків газу	Удосконалення продукту	Висока точність виявлення витоків, інтеграція з системами безпеки	Точність, Надійність, Інтеграція з існуючими системами безпеки
2	Автоматизована система виявлення витоків	Розширення ринків	Висока автоматизація процесу виявлення витоків, надійність системи	Автоматизація, Надійність, Швидкість реакції
3	Високий рівень технічної підтримки	Диференціація	Ефективна технічна підтримка, навчання користувачів, оновлення ПЗ	Технічна підтримка, Навчання, Системні оновлення
4	Адаптованість до різних умов експлуатації	Виходження на глобальний ринок	Адаптованість до різних кліматичних умов, готовність до використання	Глобальна адаптованість, Готовність до експлуатації в різних умовах, Ефективність в різних сферах використання
5	Високий рівень безпеки та конфіденційності даних	Інновації	Захищеність даних, шифрування, сучасні методи виявлення витоків	Конфіденційність, Шифрування, Захищеність

Цей підрозділ допоміг у визначенні основної стратегії поведінки компанії на ринку, яка визначає її напрямок взаємодії з ринком.

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час формування маркетингової програми перший етап включає в себе розробку концепції товару, яку споживач отримає. У таблиці 4.19 узагальнюються результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Виявлення витоків на газопроводах	Автоматизована система виявлення витоків	Використання технології БПЛА для швидкого та точного виявлення витоків, з використанням технології мультиспектрального комплексування.

Розглянувши ключові переваги концепції потенційного товару для автоматизованої системи виявлення витоків на газопроводах з використанням БПЛА, можна визначити, що вона пропонує ефективний та інноваційний підхід до виявлення та моніторингу витоків газу. Застосування технології БПЛА дозволяє системі працювати в реальному часі, зменшує витрати на обслуговування та мінімізує екологічні ризики, забезпечуючи швидку та ефективну реакцію на потенційно небезпечні ситуації.

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	пловізор, який розташований на БПЛА		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Мультиспектальне комплексування	1.Нм	1.Тл
	2.Різноманітна комплектація		
	3.Різні постачальники комплектуючих	2.М	2.Тх
	4.Виробництво на замовлення	3.М	3.Е
	5.Деякі етапи виготовлення можуть бути передані на аутсорс	4.М	4.Вр

		5.М	5.ОР
	Якість: відповідає нормам ДСТУ В 7371:2020		
	Пакування: програмне забезпечення записане на компакт диск.		
	Марка: UAV thermal imager		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: надається можливість протестувати прилад до купівлі		
	Після продажу: в наявності є гарантія на прилад		

Таблиця 4.20 відображає опис трьох рівнів моделі товару для автоматизованої системи виявлення витоків на газопроводах з використанням БПЛА. Починаючи від концепції товару за задумом, деталізуючи його реальне виконання та завершуючи товаром із підкріпленням, таблиця надає важливі характеристики та властивості. Продуманість конструкції, якість відповідно до норм ДСТУ В 7371:2020, і гарантійне обслуговування після продажу підкреслюють високий стандарт цього продукту [35-37].

Наступним етапом є визначення діапазону цін, якими слід керуватися при встановленні ціни на майбутній товар. Цей процес включає аналіз цін на аналогічні товари конкурентів та доходів споживачів продукту (таблиця 4.21).

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	150 000 грн	200 000 грн	7 000 000 грн	100 000 – 200 000 грн

В даній таблиці проведений аналіз та визначено діапазон цін для споживачів, враховуючи рівень цін на товари-замінники, цінову політику конкурентів і доходи цільової аудиторії.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж на маркетплейсі Закупівля оптом	Продаж різноманітної конфігурації продукту, в залежності від бажання клієнта та подальше сервісне обслуговування	Висока	Продаж великим підприємствам оптом

У результаті аналізу формування системи збуту виділено ключові аспекти, такі як специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів, функції збуту, глибина каналу збуту. Оптимальною стратегією збуту є продаж продукції на маркетплейсі та оптові постачання великим підприємствам.

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Зацікавленість у виявленні витоків на газопроводах	Інтернет-ресурси, спеціалізовані форуми	Точність виявлення, швидкість реагування та робота у важкодоступних місцях	Позначити переваги продукту	Інформаційне звернення з фокусом на точність та швидкість виявлення витоків

Під час розроблення маркетингової програми для стартап-проекту виявлено ключові аспекти споживацького попиту, визначено цільові групи та розроблено ефективні стратегії позиціонування та комунікацій. Планується використання різноманітних каналів комунікацій та акцент на технологічних перевагах продукту для привертання уваги цільової аудиторії.

4.5. Організація реалізації стартап-проєкту

Розділ присвячений детальному аналізу та плануванню етапів впровадження автоматизованої двоканальної системи для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА. У цьому розділі буде розглянуто організаційні питання, стратегії впровадження, а також визначені критичні аспекти, що впливатимуть на успіх реалізації проєкту.

Таблиця 4.24. Календарний план реалізації проєкту

№ п/п	Зміст етапу	Номер місяця												Собівартість реалізації
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Підготовчі роботи	X	X											700\$
2	Аналіз вимог		X	X										1000\$
3	Проектування системи			X	X									1200\$
4	Розробка програмного забезпечення		X	X	X	X								1500\$
5	Виготовлення апаратної частини				X	X	X	X						1800\$
6	Тестування та оптимізація						X	X						800\$
7	Впровадження системи							X	X					500\$
8	Оцінка та аналіз результатів							X	X	X				300\$

9	Знаходження інвестицій					X	X	X	X	X				1300\$	
10	Запуск реклами								X	X	X			1000\$	
11	Коригування системи								X	X	X			300\$	
12	Підготовка звіту та завершення проекту									X	X	X			700\$

Календарний план реалізації проекту "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" розглядає ключові етапи впровадження та визначає приблизні терміни завершення. Проект розпочинається підготовчими роботами і просувається через етапи аналізу вимог, проектування, розробки програмного та апаратного забезпечення до впровадження та навчання персоналу. Зменшена собівартість реалізації вказує на ефективне управління витратами під час виконання проекту.

Бізнес-модель даного продукту є наступною:

UAV thermal imager – це нова компанія, основним продуктом якої є тепловізори на БПЛА. Першочерговим етапом є продаж спеціалізованого обладнання для виявлення витоків та контролю за газопроводами. Компанія постачає сенсори, камери та інші компоненти, необхідні для встановлення на газопроводах.

Надалі, компанія може надавати платний сервіс моніторингу, який включає в себе аналіз даних в реальному часі, виявлення аномалій та автоматичне повідомлення про можливі витокі. Клієнти платять за доступ до платформи та послуги моніторингу.

Компанія може пропонувати послуги консультацій та технічної підтримки для ефективного використання системи. Це може включати

навчання персоналу клієнта, регулярне оновлення програмного забезпечення та інші технічні послуги.

Також, компанія може пропонувати індивідуальні рішення для конкретних потреб клієнтів, включаючи розробку та інтеграцію спеціальної функціональності або модифікацію системи під конкретні вимоги.

Висновки до розділу 4

У ході аналізу та заповнення ряду таблиць для стартап-проекту "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" були враховані ключові аспекти в різних сферах, включаючи конкурентоспроможність, стратегії розвитку, маркетингові комунікації та інші.

За результатами аналізу виявлено сильні та слабкі сторони проекту, визначено фактори конкурентоспроможності, а також розроблено стратегії для позиціонування та рекламного спілкування. Важливою частиною виявилася робота над ціноутворенням та стратегією збуту, що дозволяє максимізувати ефективність введення продукту на ринок.

Детальний SWOT-аналіз дозволив ідентифікувати сильні та слабкі сторони проекту, враховуючи можливості та загрози, що виникають у зовнішньому середовищі. Альтернативи розвитку були розглянуті з урахуванням ризиків та можливостей на ринку.

Визначення цільових груп та їхніх характеристик, а також аналіз ринкового впровадження, дозволяють оптимізувати стратегію маркетингу та сприяти ефективному виходу на ринок. Врахування вимог цільових груп та адаптація продукту до їхніх потреб є ключовим етапом успішної комерціалізації.

Стратегії позиціонування та конкурентної поведінки були обрані з урахуванням аналізу ринкових умов та конкурентної обстановки. Цінова

політика та визначення меж встановлення цін стали важливим етапом формування ефективної бізнес-стратегії.

У контексті системи збуту важливим стало визначення специфіки закупівельної поведінки цільових клієнтів та оптимальної системи збуту, що підтримує позиціонування продукту на ринку. Комплексність підходу до маркетингової програми дозволяє стартапу максимально використовувати свій потенціал та конкурувати на ринку інноваційних технологій.

ВИСНОВКИ

У рамках магістерської дисертації за темою "Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА" було проведено глибоке дослідження основних теоретичних аспектів, пов'язаних із виявленням витоків на газопроводах та застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для цієї задачі.

У розділі "Проектування системи та опис її функціонування" детально пророблено концепції та принципи роботи розробленої системи. Вибір технічних характеристик та параметрів апаратної частини системи був обґрунтований з урахуванням особливостей завдань виявлення витоків газу. Особлива увага була приділена взаємодії між різними компонентами системи, а також забезпеченню її стійкості та надійності у різних умовах експлуатації.

У розділі "Розробка програмного забезпечення та підбір комплектуючих для тепловізійної системи" висвітлено процес створення програмного забезпечення для системи та обрано комплектуючі для тепловізійної частини проекту. Здійснено обґрунтування вибору конкретних технологій та бібліотек для ефективної роботи системи в реальному часі. Крім того, наведено деталі щодо підбору інфраструктури, що гарантує оптимальну продуктивність системи.

У розділі "Розробка стартап проекту «Автоматизована двоканальна система для виявлення витоків на газопроводах із застосуванням БПЛА»" представлені результати процесу створення стартапу. Обґрунтовано вибір конкретного обладнання та його компонентів для забезпечення найвищої ефективності та точності системи. Виділено ключові кроки у впровадженні проекту на ринок та стратегії подальшого його розвитку.

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що у даного проекту є перспективи на реалізацію та подальший розвиток, а також вихід на ринок збуту. Визначено досягнення, виявлені проблеми та визначено перспективи

майбутньої роботи. Зазначено, що розроблена система може відкрити нові можливості для ефективного контролю газопроводів, сприяючи підвищенню безпеки та уникненню екологічних аварій. Комплексний підхід до проектування системи, розробка програмного та апаратного забезпечення, а також вивчення питань створення стартапу стали важливим кроком у напрямку вдосконалення систем моніторингу та реагування на можливі витіки газу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sonkar S. K. Detection and Estimation of Natural Gas Leakage Using UAV by Machine Learning Algorithms / S. K. Sonkar, P. Kumar, R. Catherine // Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2022. – pp. 199-203.
2. Iwashezenko S. Detection of Natural Gas Leakages Using a Laser-Based Methane Sensor and UAV /S. Iwashezenko, P. Kalisz, M. Slota // Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2021. – pp. 30-44.
3. Yang S. Natural Gas Fugitive Leak Detection Using an Unmanned Aerial Vehicle /S. Yang, R. W. Talbot, M. B. Frish, L. M. Golston// Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2023. – pp. 12-17.
4. Муравйов О. В. Перспективи розвитку технологій та підвищення рівня автономності БПЛА / О.В. Муравйов, І.О. Довбиш, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73) . – № 2. – С. 199-205.
5. Ren H. A Review on UAV-based Gas Sensing: Current Status and Future Perspectives / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao// Journal of Cleaner Production. – vol. 81 (4). – 2018. – pp. 45-72.
6. 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.
7. 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.
8. Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьев // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – С. 38.
9. Brown M. Application of Infrared Imaging in Gas Leak Detection /

M. Brown // *Environmental Monitoring and Assessment*. – vol. 35 (4). – 2020. – pp. 721-732.

10. White S. Optical Gas Imaging for Leak Detection in Oil and Gas Industry / S. White // *Journal of Environmental Science and Technology*. – vol. 28 (6). – 2019. – pp. 1025-1037.

11. Smith J. Advanced Gas Leak Detection Technologies / J. Smith // *Gas Pipeline Safety Journal*. – 2019. – pp. 24(2), 45-58.

12. Turner J. UAVs in the Energy Industry: A Comprehensive Guide / Jessica Turner // Wiley. – 2023.

13. 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.

14. Сторожик Д. В. Автоматизація процесу теплового неруйнівного контролю шляхом застосування методу комплексування термограм / Д. В. Сторожик, А. Г. Протасов, О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Д. В. Петренко // *Техн. діагностика та неруйнівний контроль*. – 2022. – №2. – С. 20-23.

15. Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.

16. Turner R. Challenges and Innovations in Gas Leak Detection / R. Turner // *Journal of Applied Engineering*. – vol. 37 (5). – 2019. – pp. 289-301.

17. Robinson A. Optimizing Gas Pipeline Safety with Modern Technologies / A. Robinson // *Gas and Energy Security Journal*. – vol. 22 (3). – 2020. – pp. 65-78.

18. Довбиш І. О. Силові установки та джерела енергії сучасних БПЛА / І.О. Довбиш, О.В. Муравйов, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. – 2023. – Том.

34 (73) . – № 5. – С. 16-21.

19. Smith J. Advanced Gas Leak Detection Technologies / J. Smith // Gas Pipeline Safety Journal. – vol. 24 (2). – 2019. – pp. 45-58.

20. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, А. В. Муравьев, О. К. Кучеренко // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – вып. №4. – С. 42-47.

21. Муравьев А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьев // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.

22. 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.

23. Муравьев А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьев // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научнотехнической конференции, 2017. – С. 385-387.

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

25. Xiang T. Z. UAV-based Remote Sensing: Techniques and Applications / T. Z. Xiang, G. S. Xia, L. Zhang // Springer. – Wuhan, China, 2021.

26. 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.

27. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична

інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.

28. 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.

29. Patel R. Machine Learning Algorithms for Anomaly Detection in Gas Pipeline Systems/ R. Patel // Journal of Artificial Intelligence in Engineering. – vol. 21 (1). – 2017. – pp. 39-53.

30. Johnson P. Drone-Based Gas Leak Detection for Pipeline Monitoring/ P. Johnson // Remote Sensing Applications. – vol. 12 (3). – 2018. – pp. 184-196.

31. Barchyn T. E. A UAV-based system for detecting natural gas leaks / T. E. Barchyn, C. H. Hugenholtz, S. Myshak, J. Bauer// Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2017. – pp. 98-120.

32. Green T. Environmental Impact Assessment of Gas Leak Detection Technologies/ T. Green // Journal of Environmental Management. – vol. 29 (4). – 2018. – pp. 539-552.

33. 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.

34. Гавриш О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» // КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.

35. Гавриш О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційновимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська // КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

36. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.

37. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.

ДОДАТКИ

надаються за погодженням з авторами роботи