

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

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

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

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»**

**на тему: «Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж»**

Виконав:

студент II курсу, групи Пм-31мп  
Юзьвак Олександр Олегович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент, к.т.н.

Муравйов Олександр Володимирович \_\_\_\_\_

Консультант з розробка стартап-проектів:

Завідувач кафедри економічної кібернетики

д.е.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

професор, каф. ІВТ, д.т.н., доцент,

Єременко Володимир Станіславович \_\_\_\_\_

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 – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Юзьваку Олександр Олександровичу**

1. Тема дисертації «Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., доцент кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2024 р. № 4987-с
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження: процес виявлення теплових аномалій, що обумовлюють порушення нормального стану підземних тепломереж, за допомогою тепловізійної системи.
4. Вихідні дані: точність вимірювання температури  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , спектральні діапазони роботи оптичної системи 8–12 мкм, матричний приймач випромінювання з розміром пікселя не більше 25 мкм.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналітичний огляд існуючих методів для моніторингу стану підземних тепломереж; проектування оптичної системи

для виявлення теплових аномалій; підбір основних комплектуючих для системи; розробка стартап-проєкту системи для визначення перспектив впровадження.

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

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Завідувач кафедри економічної кібернетики д.е.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд	3 тижні	
2.	Розробка структурної схеми	2 тижні	
3.	Розробка оптичної схеми	3 тижні	
4.	Підбір комплектуючих	2 тижні	
5.	Виконання розділу «Розробка стартап проєкту»	3 тижні	
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	3 тижні	

Студент

Олександр ЮЗЬВАК

Науковий керівник

Олександр МУРАВЙОВ

## АНОТАЦІЯ

Сучасні підземні тепломережі є важливою частиною інфраструктури міського господарства, і їхній стан безпосередньо впливає на енергоефективність та безпеку. Утім, виявлення пошкоджень або витоків тепла в цих мережах є складним завданням через їхнє підземне розташування та обмежену доступність для традиційних методів контролю.

Магістерська дисертація присвячена розробці та впровадженню автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж. Система поєднує використання тепловізійних камер та автоматичних алгоритмів обробки даних для виявлення аномалій температури, що вказують на можливі пошкодження або витoki тепла в мережах.

Дослідження включає в себе теоретичний аналіз методів моніторингу стану трубопроводів, підбір необхідного обладнання.

Результати дослідження свідчать, що розроблена система забезпечує високоточний моніторинг підземних тепломереж, дозволяючи своєчасно виявляти проблеми, які можуть призвести до втрат енергії або аварій.

Ця дисертація має практичне значення для покращення стану підземних тепломереж, сприяє зниженню витрат на енергію та підвищенню безпеки, а також може бути використана в енергетичних компаніях, муніципальних службах та інших галузях, де важливий постійний моніторинг інфраструктурних об'єктів.

## ABSTRACT

Modern underground heating networks are a critical component of urban infrastructure, and their condition directly impacts energy efficiency and safety. However, detecting damage or heat leaks in these networks is a challenging task due to their underground location and limited accessibility for traditional monitoring methods.

This master's thesis is dedicated to the development and implementation of an automated thermal imaging system for monitoring the condition of underground heating networks. The system combines the use of thermal imaging cameras and automated data processing algorithms to detect temperature anomalies indicating potential damage or heat leaks in the networks.

The research includes a theoretical analysis of pipeline monitoring methods and the selection of necessary equipment.

The study results demonstrate that the developed system provides highly accurate monitoring of underground heating networks, enabling the timely detection of issues that could lead to energy losses or accidents.

This thesis has practical significance for improving the condition of underground heating networks, contributing to reduced energy costs and enhanced safety. It can also be applied by energy companies, municipal services, and other industries where continuous monitoring of infrastructure is crucial.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Огляд сучасного стану підземних тепломереж.....	9
1.2 Методи контролю та моніторингу підземних тепломереж.....	11
1.3 Тепловізійні технології в діагностиці підземних комунікацій.....	21
1.4 Існуючі системи автоматизованого моніторингу тепломереж.....	24
1.5 Проблеми та обмеження систем тепловізійного моніторингу.....	27
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	31
2.1 Структурна схема системи.....	31
2.2 Розробка оптичної системи.....	32
2.3 Конструкція оптичної системи.....	41
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ .....	43
3.1 Вибір аналогово-цифрового перетворювача.....	43
3.2 Вибір мікроконтролера.....	45
3.3 Вибір регістру зсуву.....	47
3.4 Вибір мультиплексора.....	49

3.5 Вибір приймача випромінювання.....	51
3.6 Вибір БПЛА .....	52
Висновки до розділу 3.....	54
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....</b>	<b>56</b>
4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту.....	56
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту .....	62
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	73
4.4 Розроблення маркетингової програми та планування стартап-проекту .....	78
Висновки до розділу 4.....	87
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>89</b>
Список використаної літератури.....	91
Додатки.....	96

## ВСТУП

Потреба у вдосконаленні методів моніторингу підземних тепломереж набуває особливого значення в сучасних умовах, коли інфраструктура багатьох міст, зокрема системи теплопостачання, застаріла та потребує регулярного обслуговування і контролю. Витоки тепла в таких мережах призводять до значних енергетичних та фінансових втрат, а також до пошкодження асфальтового покриття і можливих аварійних ситуацій. Діагностика підземних тепломереж дозволяє оперативно виявляти та усувати місця витоків і дефектів, сприяючи підвищенню ефективності та надійності системи теплопостачання.

Предметом дослідження є технології автоматизованого моніторингу підземних тепломереж, зокрема методи тепловізійного контролю та алгоритми обробки даних для виявлення дефектів і оцінки технічного стану систем теплопостачання.

Традиційні методи виявлення витоків тепла та дефектів у підземних тепломережах часто є трудомісткими, затратними та недостатньо точними. Тепловізійний контроль, який активно розвивається в останні роки, дозволяє отримувати детальні зображення температурних аномалій, що сигналізують про пошкодження мереж. Однак без застосування автоматизованих систем з обробкою даних у реальному часі цей метод залишається не до кінця ефективним.

Метою роботи є розробка та впровадження автоматизованої системи, яка не лише фіксуватиме теплові аномалії, але й забезпечуватиме обробку отриманих даних. Це дозволить оперативно надавати інформацію про стан тепломереж, сприяючи ухваленню рішень щодо усунення дефектів та запобігання аваріям.

Розробка автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу підземних тепломереж дозволить значно підвищити точність діагностики, скоротити витрати на обслуговування, мінімізувати ризики пошкодження



дорожнього покриття та знизити ймовірність аварійних ситуацій. Запровадження таких систем також сприятиме зниженню енерговитрат, покращенню екологічної ситуації та забезпеченню надійного теплопостачання, що позитивно вплине на якість життя населення.

Основною метою є створення ефективної, надійної та адаптивної тепловізійної системи для автоматизованого моніторингу підземних тепломереж. Така система дозволить у реальному часі фіксувати, аналізувати та оцінювати технічний стан мереж із високою точністю, а також сприяти впровадженню сучасних технологій управління міською інфраструктурою.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Огляд сучасного стану підземних тепломереж

Сучасний стан підземних тепломереж у міських районах є важливою проблемою інфраструктури, оскільки від їх надійності залежить безперебійне теплопостачання для багатьох житлових та промислових об'єктів. Більшість тепломереж були побудовані ще в середині та другій половині ХХ століття, і з того часу піддалися зносу через природні процеси старіння матеріалів, зовнішні впливи, зокрема корозію, і недостатнє технічне обслуговування. Це призвело до значного погіршення їх технічного стану, що, своєю чергою, створює ризик аварійних ситуацій, які можуть мати серйозні соціально-економічні наслідки [1,2].

На практиці підземні тепломережі стикаються з низкою типових проблем, які призводять до втрат тепла та значних витрат на ремонти й обслуговування. Однією з основних проблем є корозія труб, особливо в умовах вологої або кислої ґрунтової середовища, яка поступово руйнує металеві елементи мережі. Корозійні процеси можуть спричинити витіки теплоносія, що, з одного боку, знижує енергоефективність системи, а з іншого – підвищує експлуатаційні витрати, оскільки пошкоджені ділянки потребують частого ремонту або заміни. Ще одним поширеним дефектом є розгерметизація стиків, яка також призводить до витіку теплоносія та втрати тепла. Згодом через постійний контакт з агресивними речовинами у ґрунті герметичність стиків значно знижується, що може стати причиною серйозних аварій [3].

Надійне функціонування тепломереж є критично важливим для забезпечення комфорту населення, особливо в зимовий період, коли відбувається пікове навантаження на систему теплопостачання. Втрати тепла через пошкоджені ділянки трубопроводів призводять до нераціонального

використання енергоресурсів, збільшення витрат на опалення та, як наслідок, підвищення фінансового навантаження на споживачів.

Крім того, аварії на тепломережах можуть мати серйозні екологічні наслідки: витоки гарячої води в ґрунт можуть змінювати екосистему, а часті ремонти та розкопки порушують поверхневий шар ґрунту і зелені насадження.

Сучасні вимоги до інфраструктури тепломереж ставлять перед експлуатаційними службами нові виклики щодо моніторингу стану трубопроводів та своєчасного усунення несправностей. В умовах, коли актуальними стають питання енергоефективності, екологічної безпеки та зниження витрат на обслуговування, важливо забезпечити своєчасний та надійний контроль над технічним станом мереж. Теплові втрати у системах центрального теплопостачання досягають значних обсягів, і через це актуальність моніторингу підземних тепломереж є надзвичайно високою. Дослідження показують, що внаслідок зношеності труб і недостатнього контролю втрачається до 20-30% тепла в тепломережах старих систем, що не лише знижує ефективність теплопостачання, а й призводить до серйозних збитків [4,5].

Також важливим фактором є вимоги до зменшення викидів вуглекислого газу та дотримання міжнародних стандартів енергоефективності, що стимулюють необхідність модернізації тепломереж і впровадження новітніх технологій для мінімізації теплових втрат. Такі стандарти, як Директива Європейського Союзу про енергетичну ефективність, вимагають скорочення витрат енергії у комунальних мережах, а також впровадження ефективних методів контролю і моніторингу для забезпечення надійності інфраструктури. Водночас модернізація старих трубопроводів є доволі дорогою, тому багато підприємств надають перевагу впровадженню сучасних методів моніторингу, які дозволяють виявляти проблеми вчасно і проводити локалізований ремонт, що є економічно ефективнішим і менш руйнівним для інфраструктури.

Таким чином, актуальність автоматизованих систем моніторингу підземних тепломереж зумовлена як технічними, так і економічними та екологічними факторами. Забезпечення надійності системи теплопостачання потребує впровадження новітніх технологій для постійного контролю за станом тепломереж та для швидкого реагування на пошкодження [6,7].

## **1.2 Методи контролю та моніторингу підземних тепломереж**

Моніторинг підземних тепломереж є надзвичайно важливим для забезпечення їхньої безперебійної роботи, оскільки пошкодження, витoki та зниження теплової ізоляції можуть призводити до значних втрат тепла, збільшення витрат на обслуговування та аварійних ситуацій. Методи контролю та моніторингу тепломереж постійно удосконалюються, і зараз існує кілька підходів до діагностики стану трубопроводів, які відрізняються за ефективністю, вартістю та доступністю.

У головній частині теплопроводу, де передається велика кількість енергії, відносні тепловтрати значно менші за похибку вимірювання сучасних промислових термометрів. У зв'язку з цим проводяться комплексні періодичні випробування теплової мережі для оцінки тепловтрат. У таких випробуваннях окремі зони з'єднуються в кільце і вимірюється різниця температур між кожною зоною при невеликій витраті теплоносія (води). Тому існує нагальна потреба у розробці методів вимірювання та створенні приладів, що дозволяють контролювати втрати тепла в режимі, близькому до реальних умов експлуатації.

Показники інтегральних теплових втрат  $Q_{ТВ}$  на ділянці теплопроводу можна визначити як відношення різниці загальної енергії теплоносія, що протікає на початку та в кінці контрольної секції, до періоду вимірювання:

$$Q_{TB} = \left( \int_{\tau}^{\tau} T_{M1} \times R_{M1} \times C_V \times d\tau - \int_{\tau_1 + \Delta\tau_1}^{\tau_2 + \Delta\tau_2} T_{M2} \times R_{M2} \times C_V \times d\tau \right) \div (\tau_2 - \tau_1), \quad (1.1)$$

де  $\tau_1$  і  $\tau_2$  – вказують час початку і закінчення вимірювання на початку секції;  $\Delta\tau_1$  і  $\Delta\tau_2$  – час, протягом якого об'єм води, що надходить у контрольовану ділянку теплопроводу, проходить через цю ділянку на початку та в кінці вимірювання відповідно;  $T_{M1}$  і  $T_{M2}$  – поточні значення температури води на початку і в кінці ділянки;  $R_{M1}$  і  $R_{M2}$  – миттєві значення витрати води на початку і в кінці ділянки.;  $C_V$  – об'ємна теплоємність води.

У загальному випадку змінними величинами є не тільки температури  $T_{M1}$  і  $T_{M2}$ , але й витрати  $R_{M1}$  і  $R_{M2}$ , через що  $\Delta\tau_1$  і  $\Delta\tau_2$  можуть відрізнятися. Теплоємність  $C_V$  залежить від температури й тиску. Тому для точного розрахунку потужності тепловтрат необхідно виміряти не тільки температуру, але і витрата холодоагенту на початку і в кінці секції, а також визначити час, за який холодоагент проходить через секцію.

В умовах порівняно невеликих змін температури, характерних для теплових труб  $C_V$  можна вважати сталою. Якщо потік теплоносія залишається незмінним  $R_{M1} = R_{M2} = R$  то час проходження ділянки буде таким самим:  $\Delta\tau_1 = \Delta\tau_2 = \Delta\tau$ . У цьому спрощеному випадку втрати тепла можна розрахувати за такими формулами:

– потужність інтегральних тепловтрат на ділянці:

$$Q_{TB} = (T_1 - T_2) \times R \times C_V, \quad (1.2)$$

– питомі тепловтрати (на одиницю довжини трубопроводу):

$$Q_{\text{ПИТ}} = Q_{TB} \div L, \quad (1.3)$$

де  $L$  – довжина ділянки;  $T_1$  – середня температура теплоносія на початку ділянки за період від  $\tau_1$  до  $\tau_2$ ;  $T_2$  – середня температура теплоносія в кінці ділянки за період від  $(\tau_1 + \Delta\tau)$  до  $(\tau_2 + \Delta\tau)$ .

Завдяки співвідношенню (1.1) точно визначити тепловтрати можна тільки в тому випадку, якщо з високою точністю виміряти різницю середньої температури теплоносія на початку і в кінці ділянки. Для цього розроблено методику вимірювання та розроблено високоточний прилад ІМРТ-1 для вимірювання різниці температур теплоносія внаслідок втрат тепла через ізоляцію в зоні тепломережі. Крім того, створено комплекс обладнання «Траса», який дозволяє вимірювати не тільки температуру теплоносія на початку і в кінці ділянки, а й температуру повітря і ґрунту. Комплекс приладів ІМРТ-1 і Траса включає дві ідентичні вимірювальні станції, повірочний термостат з комплектом еталонних ртутних термометрів, програмне забезпечення. Кожна вимірювальна станція обладнана датчиком температури (ТП) і спеціальним вимірювальним приладом (МП). Зовнішній вигляд вимірювальної станції комплексу «Траса» показано на рис. 1.

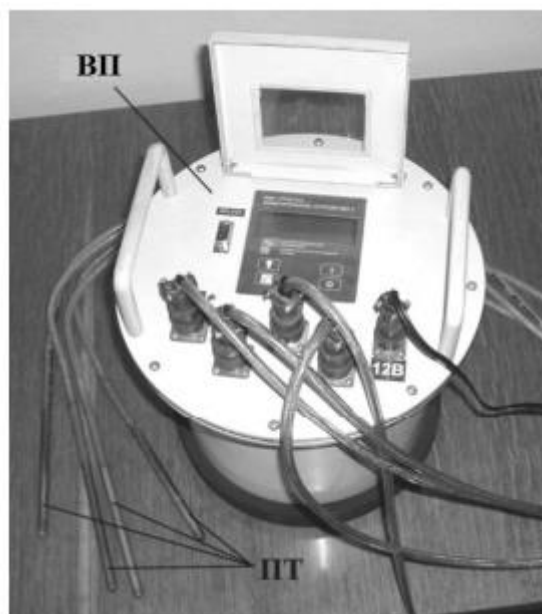


Рис. 1. Зовнішній вигляд вимірювальної станції комплексу «Траса»

Конструкція датчика температури дозволяє встановлювати його в спеціальну гільзу в трубопроводі системи опалення.

Датчик температури являє собою термометр опору у вигляді тонкостінної трубки з нержавіючої сталі діаметром 6,2 мм і довжиною 240 мм. Усередині трубки знаходиться чутливий елемент у вигляді спіралі з мідного дроту діаметром 0,05 мм з електричним опором 1000 Ом при 0 °С. Для забезпечення стабільності властивостей перетворювач піддається старінню протягом 500 годин при температурі 160 °С. Мікропроцесорний лічильник дозволяє вимірювати та обробляти сигнал від датчика температури, а також відображати та зберігати дані температури в окремій флеш-пам'яті. Пам'ять може зберігати дані вимірювання температури з інтервалом 30 секунд протягом 10 днів. Вимірювання електричного опору термометром опору здійснюється за схемою несиметричного моста зі стабільним живленням.

Елементи мостової схеми вибираються з однієї партії прецизійних резисторів з мінімальним відхиленням від номіналу і однаковим температурним коефіцієнтом опору. Конструктивно вони розміщені в корпусі з чутливими елементами, що виключає вплив з'єднувальних проводів на точність вимірювання. Стабілізатор струму, що живить вимірювальний міст, працює за схемою зі зворотним зв'язком через термометр опору, а напруга по діагоналі моста посилюється за допомогою прецизійного підсилювача з малими значеннями напруги зсуву і струму. Всі електронні компоненти, що забезпечують точність вимірювань, розташовані в спеціальному термостаті, вбудованому в лічильник, і працюють при температурі  $(60 \pm 0,5)$  °С незалежно від умов експлуатації, що забезпечує стабільність характеристик. Щоб компенсувати нелінійність у функції перетворення датчика температури, мікропроцесорний пристрій використовує наближений поліном для перетворення значення опору чутливого елемента в температуру. Його коефіцієнти визначаються експериментально для кожного датчика під час налаштування пристрою. Вбудований таймер з автономним джерелом живлення дозволяє прив'язувати вимірювання до часу [8,9].

Лічильник має захищену від пилу та крапель конструкцію, а кожна робоча секція та дисплей розміщено в герметичній прозорій кришці. Живлення для режиму роботи здійснюється від автомобільного акумулятора 12 В або через зовнішній джерело живлення від мережі 220 В 50 Гц. Термостати калібрувальні призначені для перевірки чутливих елементів датчика температури і визначення поправок до його показань і використовуються при перевірці вимірювальних характеристик приладу. Терморегулятор складається з дюралюмінієвого циліндра з електропідігрівом та ізоляцією, має вбудований датчик температури та гніздо для еталонного термометра для підтримки стабільної температури в діапазоні 30-130°C.

Це програмне забезпечення дозволяє перезаписувати зібрані дані на жорсткий диск вашого ПК, обчислювати середнє значення температури за певний період часу, розраховувати поправки на основі порівняння з еталонним термометром і вводити їх у результати вимірювань.

Похибки вимірювання викликані теплообміном між термометром, арматурою та з'єднувальними проводами. Похибка залежить від глибини занурення термометра, геометрії штуцера, теплопровідності матеріалу, різниці температур теплоносія і навколишнього середовища. У найбільш несприятливих умовах похибка становить приблизно 0,005 К для глибини занурення понад 25 см, але похибка може бути зменшена в 3-5 разів за допомогою ізоляції. Згідно з методикою випробувань, вимірювальна станція встановлюється в оглядовому колодязі або павільйоні на краю зони контролю, а датчик температури розміщується всередині стандартної гільзи (див. рис. 2). Вимірювання температури теплоносія проводять протягом кількох діб.



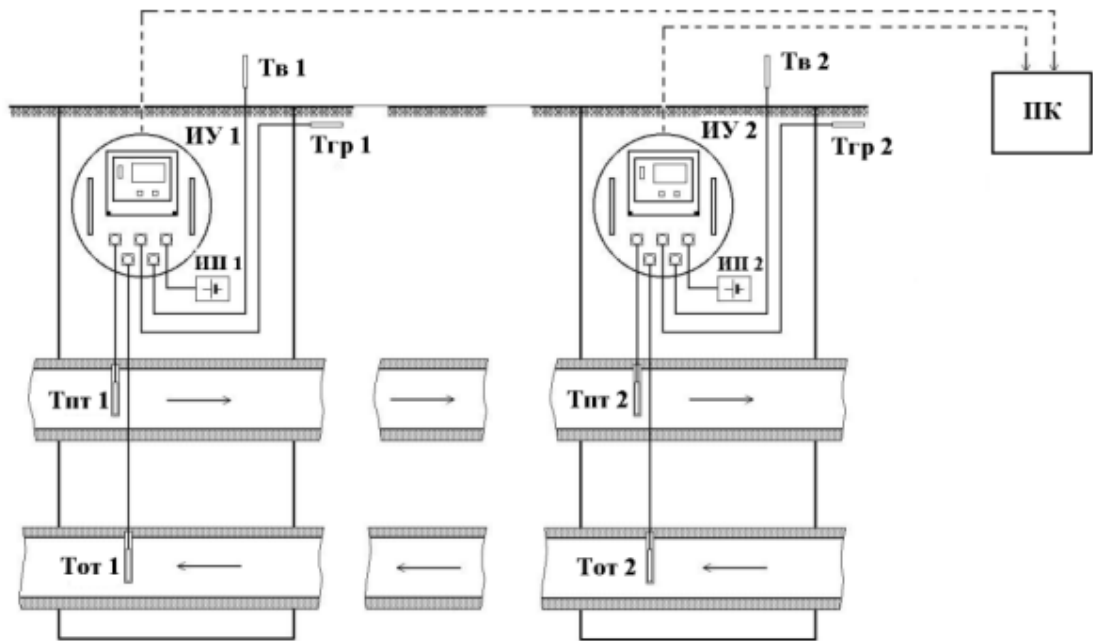


Рисунок 2. Схема розміщення і з'єднання елементів апаратури «Траса» на ділянці теплотраси: ВП1, ВП2 – вимірювальні пристрої; ДЖ1, ДЖ2 – джерела живлення; ПК – персональний комп'ютер; ПЗ – програмне забезпечення; Т – перетворювачі температури, що вимірюють температуру, відповідно, прт – прямого трубопроводу, зт – зворотного трубопроводу, в – повітря, гр – ґрунту

Після завершення вимірювань зніміть пристрій з теплової трубки, підключіть його до ПК і надішліть зібрану інформацію через послідовний інтерфейс. За допомогою калібрувального термостата датчик температури порівнюється з еталонним термометром і визначаються поправки зібраних даних. ПК розраховує середню температуру в кінці контрольної ділянки теплопроводу і, за наявності додаткових даних про витрату теплоносія, визначає інтегральні та питомі втрати тепла під час випробування. Як приклад діаграми на рис. 3 наведені результати денних вимірювань температури діючого магістрального теплопроводу між Київською ТЕЦ-6 та котельнею РТС-6. Зона контролю починається від павільйону 1П1 і закінчується біля

насосної станції РТС-6. Загальна довжина ділянки становить 2970,7 м, з яких 146,5 м над землею і 2824,2 м під землею. Діаметр трубопроводу 1200 мм.

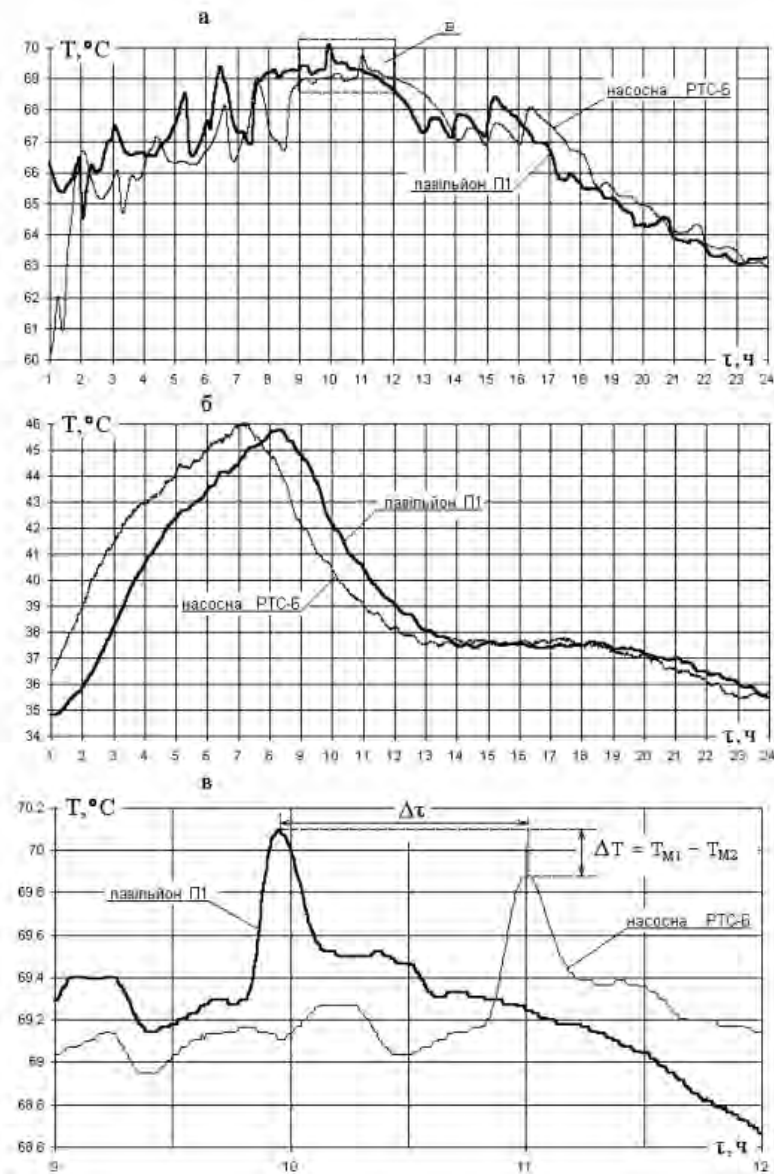


Рисунок 3. Результати запису температури протягом доби: а – в трубопроводі, що подає; б – в зворотному трубопроводі; в – фрагмент графіка в збільшеному масштабі

Випробування проводилися в тестовому режимі при нормальній роботі тепломережі з витратою приблизно 7000 т/год та зниженою витратою теплоносія приблизно 3000 т/год. Як показує представлений графік,

реєструючи зміни температури теплоносія в трубопроводі з високою роздільною здатністю, можна спостерігати динаміку енергоспоживання та характеристики підтримки температури і споживання теплоносія в ТЕЦ.

Традиційні методи контролю підземних тепломереж включають візуальні огляди та механічні інспекції, де можливо, а також звукові методи виявлення витоків. Візуальний огляд дозволяє оцінити загальний стан трубопроводу та виявити очевидні пошкодження, такі як корозія на поверхні труб, механічні дефекти або розгерметизація стиків. Проте цей метод має значні обмеження, адже він є доволі трудомістким, вимагає доступу до труб, що в умовах підземних комунікацій є проблематичним. Крім того, він не забезпечує точних даних про стан тепломереж у місцях, де їхній доступ обмежений, що робить його неефективним для швидкого виявлення пошкоджень.

Звукові та акустичні методи виявлення пошкоджень дозволяють визначити місця витоків теплоносія за допомогою спеціальних приладів, які фіксують звукові коливання, що виникають при витoku рідини під тиском (див. рис.4 ). Цей метод може бути ефективним для виявлення значних витоків у доступних місцях, однак у складних умовах, наприклад при глибокому заляганні трубопроводів або в умовах сильної зовнішньої шумової завади, його точність знижується. До того ж, акустичний метод вимагає високої кваліфікації персоналу для проведення аналізу та інтерпретації результатів, що може ускладнювати його використання в оперативному моніторингу великих мереж [10].



Рисунок 4. Акустичний метод виявлення

Однак, завдяки розвитку технологій, стали доступні нові, більш сучасні методи діагностики тепломереж. Одним із найперспективніших методів є тепловізійний контроль, який базується на інфрачервоній діагностиці, що дозволяє виявляти температурні аномалії на поверхні ґрунту над тепломережами. Використання тепловізорів дає можливість швидко й точно виявити зони теплових втрат, які можуть свідчити про пошкодження ізоляції трубопроводів, протікання або інші дефекти. За допомогою тепловізійної камери можна здійснити дистанційне обстеження тепломереж, не вдаючись до дорогих розкопок чи інших трудомістких процедур. Завдяки тому, що тепловізори фіксують інфрачервоне випромінювання, яке виходить від об'єкта, вони перетворюють його у візуальне зображення, де температурні аномалії добре видно, що спрощує інтерпретацію результатів [11].

Тепловізійні методи моніторингу тепломереж є не лише зручними, але й дуже економічно вигідними, оскільки вони дозволяють мінімізувати витрати на ремонт і обслуговування шляхом локалізації проблемних зон. Це особливо корисно в містах з густою забудовою, де немає можливості проводити масштабні розкопки. Дистанційні методи обстеження, зокрема із використанням дронів та безпілотних літальних апаратів, також набувають

популярності. Такі дрони, оснащені тепловізійними камерами, можуть обстежувати великі території, де розташовані підземні тепломережі, і збирати точні дані про стан труб. Це дає можливість оперативно отримувати інформацію з важкодоступних місць і своєчасно виявляти пошкодження. Крім того, такі системи можуть функціонувати навіть у складних умовах і зберігати стабільну якість зображення, що робить їх універсальними для багатьох регіонів з різними кліматичними умовами.

Іншим перспективним підходом є використання бездротових сенсорних мереж, які дозволяють здійснювати постійний моніторинг температурного режиму на певних ділянках трубопроводів і передавати дані в реальному часі. Такі мережі можна розмістити в стратегічно важливих точках, і вони автоматично фіксуватимуть будь-які аномальні температурні зміни, що свідчать про можливі дефекти. Бездротові сенсори забезпечують можливість відстеження стану трубопроводів в умовах, коли неможливо провести інші види обстежень, а також дозволяють автоматизувати процес збору даних і знизити необхідність людського втручання [12].

Порівняння традиційних методів із сучасними показує, що інфрачервона діагностика і тепловізійне обстеження є більш ефективними, оскільки дозволяють значно скоротити час на діагностику та знизити витрати на обслуговування. Тепловізійний моніторинг, на відміну від звукових і акустичних методів, не залежить від умов доступності до трубопроводу, оскільки він може здійснюватися з поверхні. Це дає змогу швидко та без значних витрат виявляти проблемні ділянки та усувати дефекти без затримок. Завдяки точності та можливості дистанційного обстеження тепловізійні камери набувають все більшого поширення як в Україні, так і за кордоном, оскільки цей метод забезпечує високий рівень надійності і зручності.

Отже, тепловізійні методи є найбільш перспективними для сучасного моніторингу підземних тепломереж, оскільки вони дозволяють виявляти температурні аномалії на ранніх стадіях і локалізувати пошкодження з високою точністю. Вони також значно спрощують обслуговування

тепломереж, зменшуючи потребу в розкопках та відключеннях, що позитивно позначається на економічній та екологічній складовій процесу.

### **1.3 Тепловізійні технології в діагностиці підземних комунікацій**

Використання автоматизованих тепловізійних систем для моніторингу підземних тепломереж є надзвичайно важливим кроком для підвищення ефективності інфраструктури тепlopостачання. Тепловізійний моніторинг дозволяє оперативно виявляти дефекти в підземних комунікаціях, що забезпечує ефективне використання ресурсів, знижує витрати на обслуговування та дозволяє уникати масштабних аварій. У цьому розділі розглянемо принцип роботи тепловізійних систем та їхнє значення для управління підземними тепломережами.

Принцип роботи тепловізійних систем базується на інфрачервоній діагностиці – можливості виявляти теплове випромінювання об'єктів, яке залежить від їхньої температури. Інфрачервоне випромінювання не сприймається людським оком, проте тепловізійна камера здатна перетворювати це випромінювання в зображення, де зони з різною температурою виділяються різними кольорами. Наприклад, на зображеннях з тепловізора пошкоджені ділянки тепломереж можуть відображатися яскравими теплими кольорами через втрати тепла, тоді як справні ділянки, де ізоляція надійна, будуть мати більш однорідну кольорову гамму, що відповідає нижчим температурам. Це дозволяє з високою точністю виявляти місця потенційних витоків або пошкоджень ізоляції.

Автоматизовані тепловізійні системи дозволяють не лише фіксувати дані про теплове випромінювання, але й обробляти їх за допомогою спеціальних програмних алгоритмів. Такі алгоритми здатні аналізувати зібрані дані й автоматично виявляти температурні аномалії, які можуть свідчити про наявність дефектів. У сучасних автоматизованих системах можуть

використовуватися різні моделі машинного навчання для обробки зображень, що дозволяє підвищити точність діагностики. Такі моделі навчено розпізнавати типові ознаки пошкоджень або дефектів на основі великої кількості зображень, зібраних під час попередніх інспекцій. Зокрема, такі системи здатні розрізняти теплові аномалії, які спричинені пошкодженням ізоляції, від інших факторів, таких як зовнішні впливи на поверхню ґрунту чи погодні умови.

Перевагою автоматизованих тепловізійних систем є їхня здатність до безперервного моніторингу в режимі реального часу. Це означає, що такі системи можуть працювати постійно, здійснюючи регулярні інспекції підземних тепломереж та автоматично оновлюючи інформацію про їхній технічний стан. Дані з тепловізійних камер передаються в центр моніторингу, де можуть бути оперативно проаналізовані для прийняття рішень. Завдяки цьому обслуговуючий персонал може миттєво отримувати інформацію про стан мереж і в разі виявлення пошкоджень швидко реагувати на аварійну ситуацію.

Дистанційний характер роботи тепловізійних систем є також важливою перевагою, особливо в міських умовах, де доступ до підземних комунікацій обмежений. Автоматизовані тепловізійні системи можуть бути інтегровані з дронами або роботизованими пристроями, які дозволяють здійснювати моніторинг тепломереж на великій площі, не потребуючи фізичного доступу до трубопроводів. Це знижує витрати на проведення інспекцій, оскільки не потрібно розкривати ґрунт або виконувати розкопки. Дрони з тепловізійними камерами можуть обстежувати важкодоступні місця та передавати зображення для подальшого аналізу. Зокрема, у великих містах, де підземні комунікації розташовані на значних глибинах або під великими об'єктами, такими як дороги та будівлі, дрони дозволяють отримати дані, які іншими методами зібрати було б важко.

Застосування автоматизованих тепловізійних систем також дозволяє створювати історичні бази даних, які зберігають інформацію про теплові

аномалії та стан мереж на певних ділянках у різні періоди часу. Це дає змогу не тільки реагувати на поточні пошкодження, а й проводити прогностичний аналіз – виявляти ділянки, які мають підвищений ризик зношення у майбутньому. Зокрема, регулярний аналіз даних дозволяє відстежувати поступове погіршення ізоляції або корозійні процеси, завдяки чому можна планувати профілактичні ремонти до того, як проблема призведе до серйозної аварії.

Інтеграція автоматизованих тепловізійних систем з іншими інформаційними системами міського господарства дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління інфраструктурою. Дані про тепломережі можуть бути використані для оптимізації роботи інших комунальних служб, наприклад, водопостачання або електромереж, завдяки чому підвищується загальна ефективність міського господарства. Сучасні тепловізійні системи можуть бути інтегровані з геоінформаційними системами (ГІС), що дозволяє фіксувати місцезнаходження дефектів на карті, а також створювати тривимірні моделі підземних комунікацій для точного планування ремонтів та інших інженерних робіт.

Таким чином, автоматизовані тепловізійні системи для моніторингу підземних тепломереж є інноваційним рішенням, яке дозволяє не лише виявляти пошкодження, а й активно прогнозувати можливі дефекти, забезпечуючи безперервний моніторинг та знижуючи експлуатаційні витрати. Вони підвищують надійність теплопостачання, сприяють ефективному використанню ресурсів та забезпечують вищий рівень енергозбереження. Завдяки автоматизації процесів моніторингу тепломереж міста можуть значно покращити якість обслуговування населення та забезпечити безпечну експлуатацію інфраструктури.



## 1.4 Існуючі системи автоматизованого моніторингу тепломереж

Системи автоматизованого моніторингу тепломереж є важливими інструментами для забезпечення ефективності та надійності теплопостачання. Вони використовуються для збору, обробки та аналізу даних про стан підземних комунікацій, що дозволяє вчасно виявляти дефекти, планувати ремонти та оптимізувати експлуатацію тепломереж. У цьому розділі розглянемо існуючі системи автоматизованого моніторингу тепломереж, їхні основні функції, особливості та переваги.

Системи автоматизованого моніторингу можуть бути класифіковані на кілька категорій, залежно від методів збору даних та технологій, які вони використовують. Однією з найпоширеніших категорій є системи, що базуються на тепловізійній діагностиці. Такі системи включають інфрачервоні камери, які встановлюються на стаціонарних платформах або використовуються у складі мобільних пристроїв, таких як дрони. Тепловізійні камери дозволяють здійснювати безконтактний моніторинг температури поверхні ґрунту та виявляти аномалії, які можуть свідчити про пошкодження теплоізоляції або витіки теплоносія. Дослідження показують, що автоматизовані тепловізійні системи здатні з високою точністю визначати проблемні ділянки і скорочувати час, необхідний для їх виявлення та ремонту.

Однією з таких систем є система ThermoVision, що забезпечує автоматизований моніторинг тепломереж у режимі реального часу (див. рис.5). Вона використовує інфрачервоні камери та програмне забезпечення для обробки отриманих даних, що дозволяє виявляти проблеми в експлуатації трубопроводів на ранніх стадіях. Система забезпечує інтеграцію з

геоінформаційними системами (ГІС), що дозволяє візуалізувати інформацію про тепломережі на карті і спростити управління ними.



Рисунок 5. Тепловізійна система ThermoVision

Іншою цікавою системою є система, що базується на застосуванні дронів, таких як FlytBase. Ця система дозволяє здійснювати моніторинг великих територій за допомогою безпілотних літальних апаратів, які оснащені тепловізійними камерами. Дрони можуть оперативно знімати температурні аномалії на поверхні та передавати дані в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на проблеми та зменшує витрати на обслуговування(див. рис. 6). Завдяки безпілотним технологіям такі системи можуть обстежувати важкодоступні ділянки тепломереж, де традиційні методи моніторингу виявляються неефективними [14].

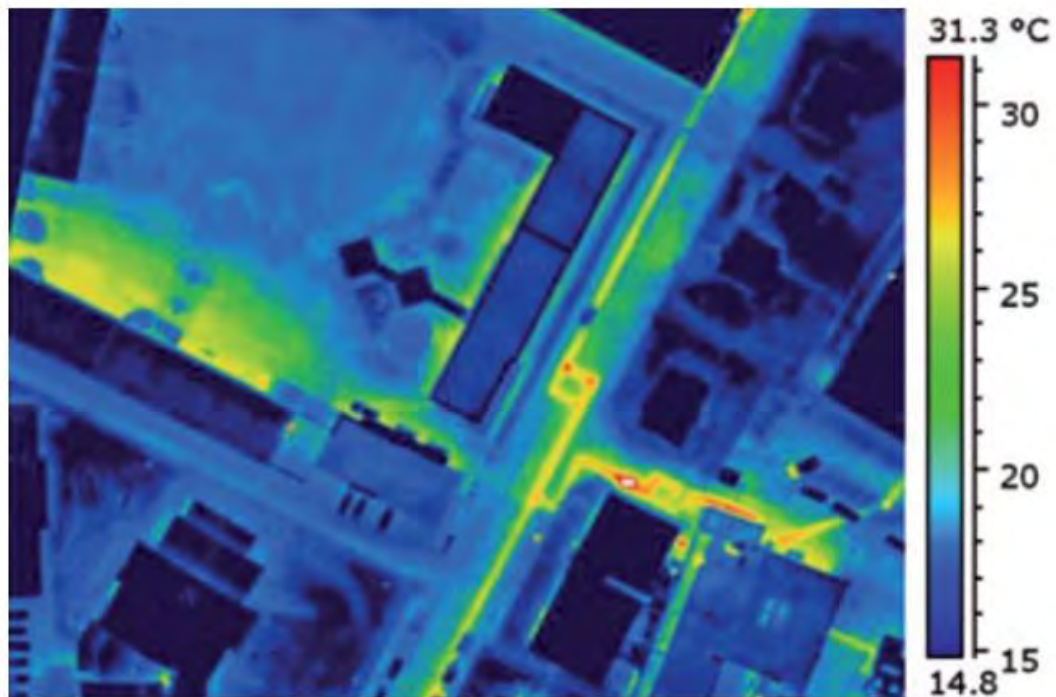


Рисунок 6. Тепловізійна аерозйомка

Також існують системи моніторингу, що ґрунтуються на використанні сенсорних мереж. Такі системи використовують бездротові сенсори, які встановлюються у важливих точках трубопроводів і автоматично фіксують зміни температури та тиску. Наприклад, система SmartHeat має вбудовані датчики, які передають дані про температуру і тиск через бездротові канали зв'язку. Ці дані обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє виявляти аномалії і прогнозувати можливі проблеми [15,16].

Крім того, деякі компанії використовують інтеграційні рішення, які об'єднують різні технології для досягнення максимальних результатів. Наприклад, система SensorLink поєднує в собі тепловізійні камери, акустичні сенсори та датчики тиску для комплексного моніторингу підземних комунікацій. Такий підхід забезпечує більше даних для аналізу, що дозволяє точно виявляти дефекти та планувати профілактичні заходи.

Важливою характеристикою автоматизованих систем моніторингу є їхня здатність до інтеграції з існуючими інформаційними системами

підприємств. Це дозволяє об'єднати дані з різних джерел та створити єдину базу даних про стан інфраструктури. Інтеграція з системами управління активами (EAM) або системами геоінформаційного моніторингу (GIS) дозволяє значно підвищити ефективність управління тепломережами, забезпечуючи швидкий доступ до даних і полегшуючи їх аналіз [17,18].

Автоматизовані системи моніторингу також надають можливості для аналізу великих обсягів даних (Big Data), що стає можливим завдяки технологіям машинного навчання та штучного інтелекту. Використання таких технологій дозволяє виявляти приховані закономірності у даних, прогнозувати ймовірність виникнення дефектів та оптимізувати планування обслуговування.

Таким чином, існуючі системи автоматизованого моніторингу тепломереж значно підвищують ефективність управління інфраструктурою. Використання інноваційних технологій, таких як тепловізійна діагностика, дрони, сенсорні мережі та інтеграційні рішення, дозволяє забезпечити високий рівень надійності теплопостачання, зменшити витрати на обслуговування та запобігти аварійним ситуаціям. У світі, де енергоефективність та екологічні вимоги стають дедалі важливішими, впровадження таких систем є необхідним кроком для сталого розвитку комунальних інфраструктур [19,20].

### **1.5 Проблеми та обмеження систем тепловізійного моніторингу**

Хоча автоматизовані системи тепловізійного моніторингу демонструють високу ефективність у виявленні дефектів і забезпеченні стабільного функціонування тепломереж, існує ряд проблем і обмежень, які перешкоджають повному використанню їхнього потенціалу. Розуміння цих обмежень є критично важливим для подальшого вдосконалення технологій моніторингу, адже саме усунення цих недоліків може підвищити точність, економічність та надійність тепловізійних систем.

Одним із основних обмежень тепловізійних систем моніторингу є їхня залежність від зовнішніх умов навколишнього середовища. Температура, вологість, погодні умови та навіть освітлення можуть впливати на точність тепловізійної діагностики. Наприклад, під час високих температур ґрунт може накопичувати теплове випромінювання, що утруднює ідентифікацію витоків тепла від трубопроводів. Взимку, навпаки, низькі температури можуть маскувати температурні аномалії, через що точність тепловізійного моніторингу знижується. Також вологість у повітрі та наявність опадів може викликати відблиски на зображеннях тепловізорів, ускладнюючи аналіз [21].

Іншою важливою проблемою є недостатня роздільна здатність тепловізійних камер, що застосовуються в існуючих системах моніторингу. Більшість тепловізорів, особливо тих, які встановлюються на дронах або інших мобільних платформах, мають обмежену деталізацію, що може не дозволити виявити дрібні дефекти або незначні витoki теплоносія. Хоча високоякісні тепловізійні камери з високою роздільною здатністю доступні на ринку, їхня висока вартість робить їх використання непрактичним для моніторингу великих територій або мереж з великою кількістю об'єктів.

Ще одним обмеженням є складність інтерпретації тепловізійних даних, особливо в умовах, де підземні тепломережі залягають на значній глибині. Інфрачервоне випромінювання може не проходити через щільний ґрунт або інші матеріали, тому температурні аномалії можуть не досягати поверхні. Це знижує точність моніторингу в умовах міської забудови, де тепломережі часто прокладаються під дорожнім покриттям або іншими перешкодами, які також затримують теплове випромінювання. В таких випадках тепловізійні системи потребують додаткових технологій, таких як акустичні сенсори або датчики тиску, що ускладнює систему та збільшує її вартість [22].

Крім того, тепловізійні системи моніторингу потребують регулярного калібрування та технічного обслуговування, що є додатковим фактором, що впливає на їхню ефективність. Калібрування тепловізорів є необхідним для підтримки точної роботи системи, оскільки неправильне налаштування може

призвести до неточних даних і, як наслідок, до неправильних висновків. Однак технічне обслуговування та калібрування потребують витрат, а також кваліфікованого персоналу, що може впливати на загальні витрати на експлуатацію таких систем, особливо у великих мережах [23].

Економічний аспект також відіграє важливу роль у впровадженні та підтримці автоматизованих тепловізійних систем. Високоякісні тепловізори та програмне забезпечення для обробки даних є досить дорогими, і не кожне підприємство може дозволити собі такі витрати. Це обмежує доступ до тепловізійного моніторингу, особливо для невеликих муніципальних підприємств або сільських населених пунктів. Навіть якщо система впроваджується, витрати на обслуговування, модернізацію та навчання персоналу можуть створювати додатковий тиск на бюджет підприємства.

Ще однією проблемою є обмеженість у можливості інтеграції тепловізійних систем з іншими інформаційними системами для комплексного управління тепломережами. Багато тепловізійних систем працюють як автономні рішення, що означає, що дані про температурні аномалії зберігаються окремо і не синхронізуються з іншими системами управління інфраструктурою. Це ускладнює використання комплексних рішень, які б дозволяли об'єднувати інформацію з різних джерел і забезпечувати повну картину стану тепломереж.

Загалом, обмеження тепловізійних систем моніторингу вимагають подальшого розвитку технологій для їхнього подолання. Наприклад, вдосконалення тепловізійних камер із високою роздільною здатністю та можливість роботи в складних умовах навколишнього середовища можуть підвищити точність систем. Розробка програмного забезпечення, яке дозволить автоматично аналізувати тепловізійні дані з урахуванням факторів навколишнього середовища, а також полегшити інтеграцію тепловізійних систем з іншими інформаційними системами, може сприяти підвищенню ефективності моніторингу тепломереж.

Отже, незважаючи на значні переваги автоматизованих тепловізійних систем для моніторингу підземних тепломереж, існує ряд проблем та обмежень, які впливають на їх ефективність і практичність застосування. Розвиток технологій у напрямі усунення цих обмежень, вдосконалення методів обробки даних та інтеграції систем може значно покращити якість моніторингу тепломереж та забезпечити більш надійне функціонування міських теплопостачальних систем [24,25].

### **Висновки до розділу 1**

У цьому звіті було здійснено аналітичний огляд автоматизованих тепловізійних систем моніторингу стану підземних тепломереж, розглянуто принципи роботи тепловізійних технологій, сучасні методи їхнього застосування та охарактеризовано основні проблеми і обмеження існуючих систем. Дослідження вказує на те, що тепловізійний моніторинг є перспективним методом для діагностики підземних тепломереж, оскільки дозволяє виявляти витоки та дефекти у трубопроводах на ранніх етапах, що, у свою чергу, сприяє зниженню втрат теплової енергії та підвищенню ефективності роботи тепломереж.

Аналіз існуючих систем показав, що інфрачервоні технології моніторингу, особливо у поєднанні з мобільними платформами, такими як дрони, значно розширюють можливості для збору даних у важкодоступних ділянках мережі. Однак, попри високу ефективність тепловізійних систем, вони мають низку обмежень. Зокрема, їхня робота залежить від впливу зовнішніх факторів (температура, вологість, погодні умови), що може знижувати точність виявлення дефектів. Крім того, висока вартість сучасних тепловізійних систем обмежує їхнє широке застосування, особливо у невеликих комунальних підприємствах.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1 Структурна схема системи

Структурна схема призначена для відображення процесів, які відбуваються у функціональних ланках пристроїв.

Структурна схема представлена на рисунку 7.

*Надається за звернення до авторів*

Рисунок 7. Структурна схема системи

- ПВ – Приймач випромінювання
- РЗ – Регістр зсуву
- АЦП – Аналого-цифровий перетворювач
- ПУ – Пульт управління БПЛА
- MUX – Мультиплексор
- RAM – Оперативна пам'ять
- MCU – Мікроконтролер
- RT – Радіопередавач
- SD – Карта пам'яті

Принцип роботи цієї системи можна описати наступним чином. Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, яке створюється об'єктом контролю та фоном, потрапляє в оптичний канал, налаштований на робочі довжини хвиль, і формує зображення на чутливій площині матричного приймача випромінювання ПВ. Мікроконтролер MCU активує регістр зсуву РЗ, який послідовно опитує рядки для зчитування даних. Використання регістру зсуву РЗ дозволяє збільшити кількість цифрових виходів мікроконтролера MCU.

Після цього сигнали з усіх пікселів обраного рядка подаються до мультиплексора MUX, який, залежно від команд мікроконтролера MCU, пропускає один із сигналів. Цей сигнал оцифровується аналого-цифровим перетворювачем АЦП і записується в блок пам'яті RAM. Після зчитування сигналів з усіх пікселів обох приймачів мікроконтролер MCU обробляє



отримані дані. Оброблене зображення зберігається на SD-карті пам'яті та передається оператору в режимі реального часу.

Передача даних до оператора здійснюється за допомогою радіопередавача (RT), який перетворює оброблену інформацію в радіосигнал і передає його на приймач, вбудований у пульт управління ПУ. Таким чином, зображення з каналу відображається на екрані пульта в режимі реального часу.

Усі ці процеси виконуються під час польоту БПЛА, яким керують за допомогою пульта управління ПУ [26,27].

## 2.2 Розробка оптичної системи

Для моделювання оптичної системи було обрано програмне середовище Zemax. Тепер детальніше розглянемо процес побудови цієї системи.

Для створення ІЧ об'єктива в оптичній системі були використані такі конструктивні параметри, які наведені в таблиці і показані на рисунку 8.

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000
1	Standard	Infinity	1.500	GERMANIUM	15.076	0.000
2	Standard	Infinity	0.500		15.044	0.000
STO	Standard	39.643 V	3.500	GERMANIUM	15.267	0.000
4	Standard	69.428 V	1.055 V		14.690	0.000
5	Standard	128.131 V	2.500	KRS5	14.529	0.000
6	Standard	65.463 V	28.270 V		13.681	0.000
7	Standard	8.078 V	2.500	KRS5	3.818	0.000
8	Standard	8.237 V	1.055 V		2.877	0.000
IMA	Standard	Infinity	-		2.564	0.000

Рисунок 8. Конструктивні параметри оптичної системи в Zemax

Рисунок 9 ілюструє зовнішній вигляд спроектованої оптичної системи у 3D вигляді, в той час як рисунок 10 демонструє її тіньову модель.

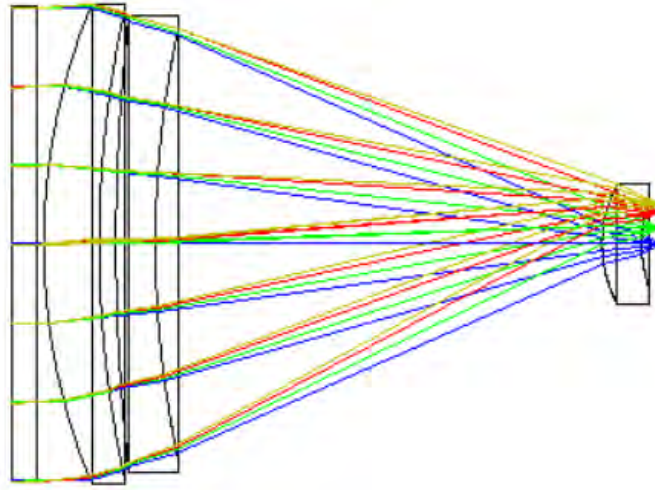


Рисунок 9. 3D зображення оптичної системи

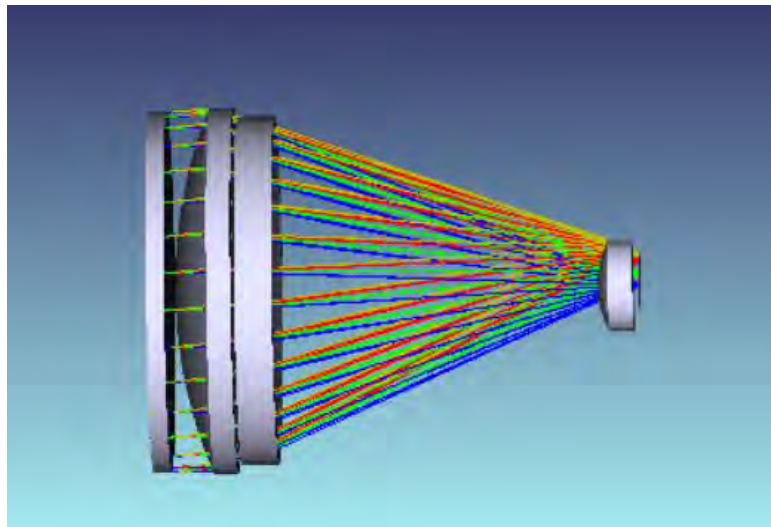


Рисунок 10. Тіньова модель оптичної системи

В результаті моделювання були отримані наступні параметри оптичної системи зображені на рисунку 11.

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 : 28.87307 (in air at system temperature and pressure)  
 Effective Focal Length : 28.87307 (in image space)  
 Back Focal Length : 1.071689  
 Total Track : 40.87975  
 Image Space F/# : 0.9624355  
 Paraxial Working F/# : 0.9624355  
 Working F/# : 0.9659288  
 Image Space NA : 0.4610141  
 Object Space NA : 1.5e-009  
 Stop Radius : 15  
 Paraxial Image Height : 2.526066  
 Paraxial Magnification : 0  
 Entrance Pupil Diameter : 30  
 Entrance Pupil Position : 0.8743683  
 Exit Pupil Diameter : 192.487  
 Exit Pupil Position : -185.2396  
 Field Type : Angle in degrees  
 Maximum Radial Field : 5  
 Primary Wavelength : 8  $\mu$ m  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : 0.1558554

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: $\mu$ m		
#	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

Рисунок 11. Розраховані параметри оптичної системи програмою Zemax

Проведено оцінку параметрів оптичної системи, з акцентом на просторово-частотних, енергетичних та геометричних властивостях. Аналіз

просторово-частотних характеристик здійснено за допомогою модуляційної передавальної функції, яка зображена на рисунку 12.

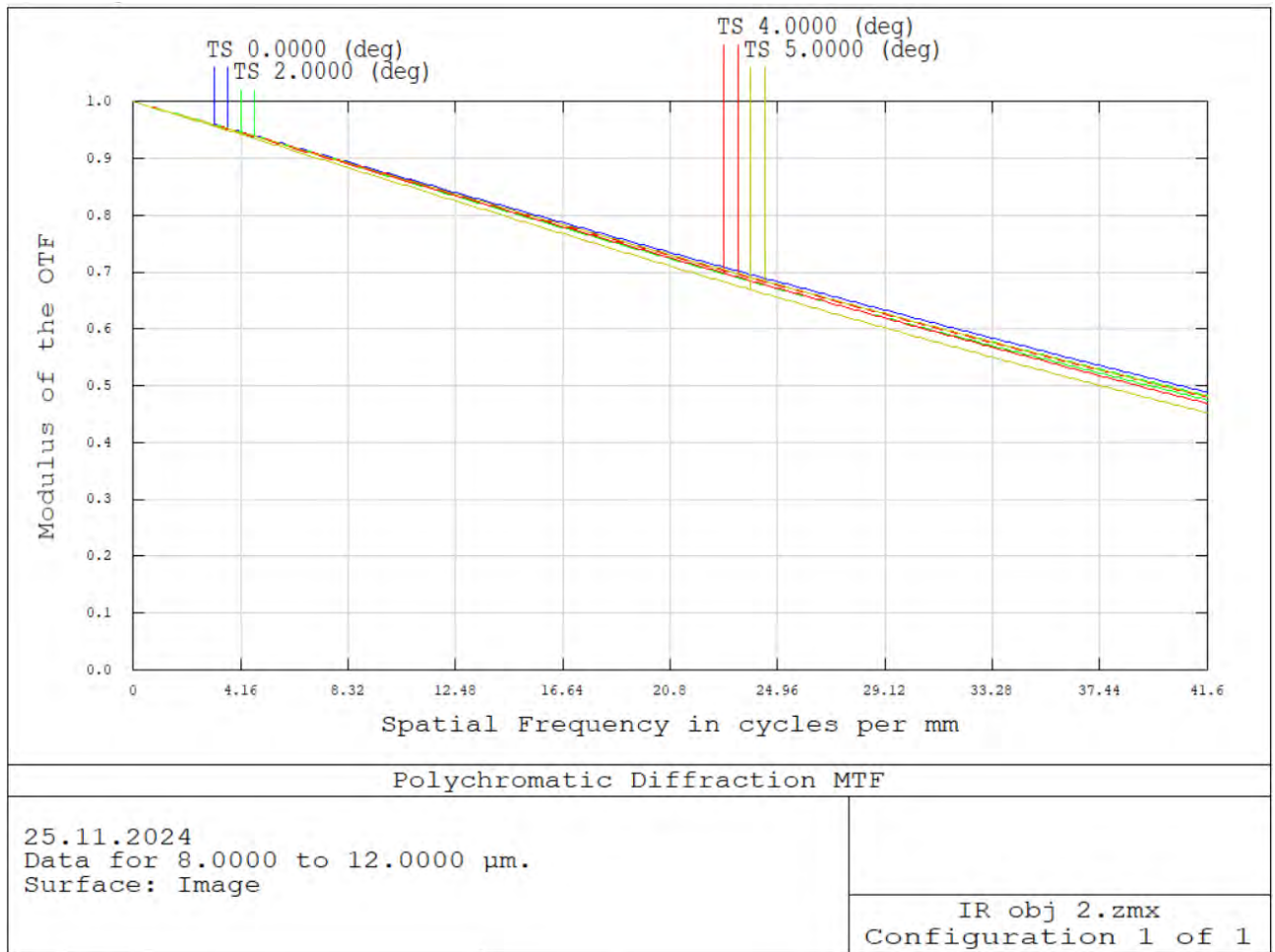


Рисунок 12. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

Як показано на графіку, модуляційна передавальна функція на межі поля зору системи має контраст на рівні близько 50%. Це вказує на те, що зображення буде досить високої якості.

Енергетичні характеристики оптичної системи будуть оцінені за допомогою функції концентрації енергії в Zemax, яка зображена на рисунку 13.

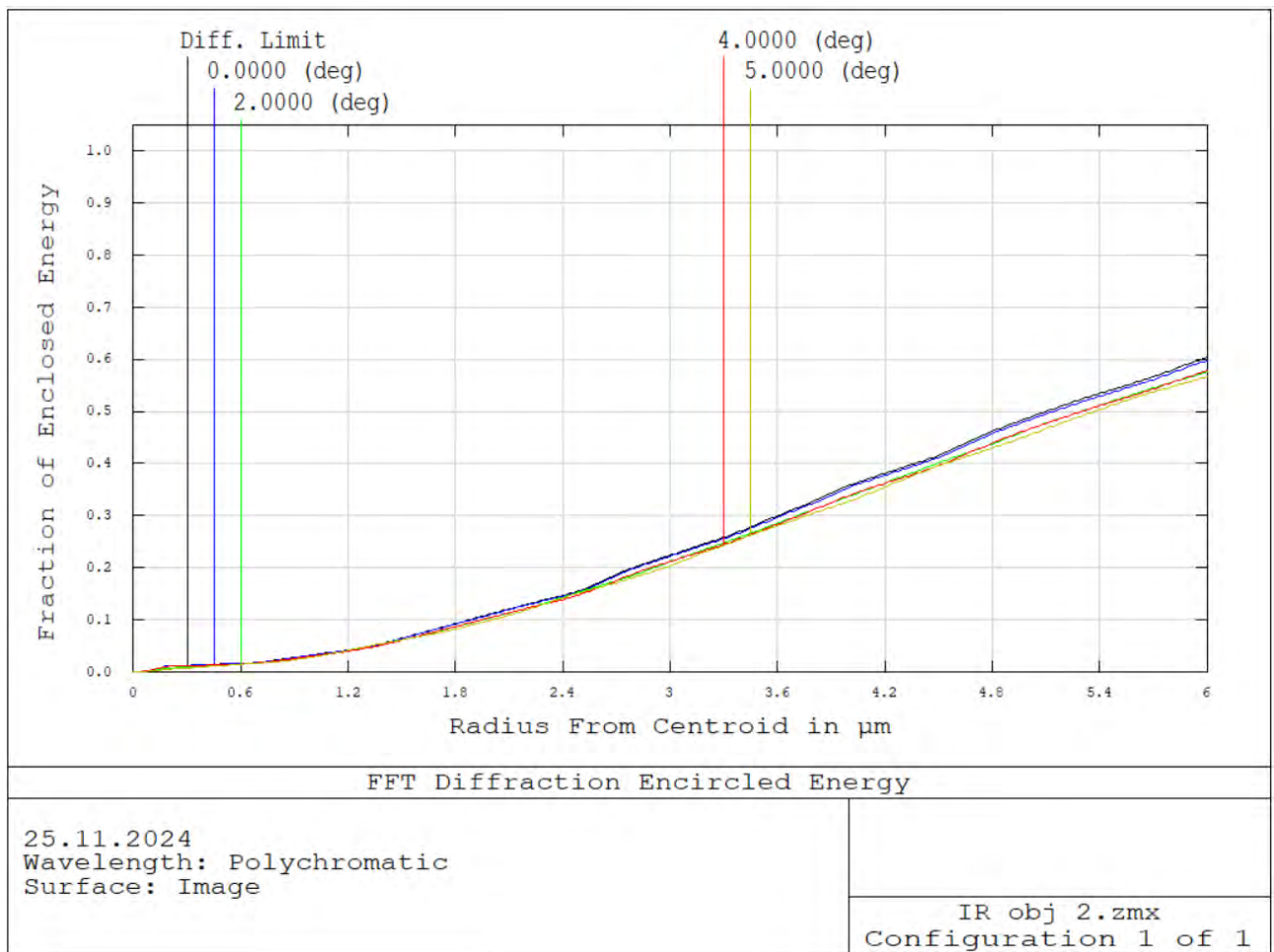


Рисунок 13. Функція концентрації енергії оптичної системи

Цей графік показує рівень концентрації енергії на межі поля зору системи, який становить близько 60%, і цього рівня цілком достатньо для отримання чіткої картинки.

Діаграми кругів розсіювання в Zemax, представлені на рисунку 14 для різних кутів поля зору, дозволяють оцінити наявність можливих аберацій в оптичній системі.

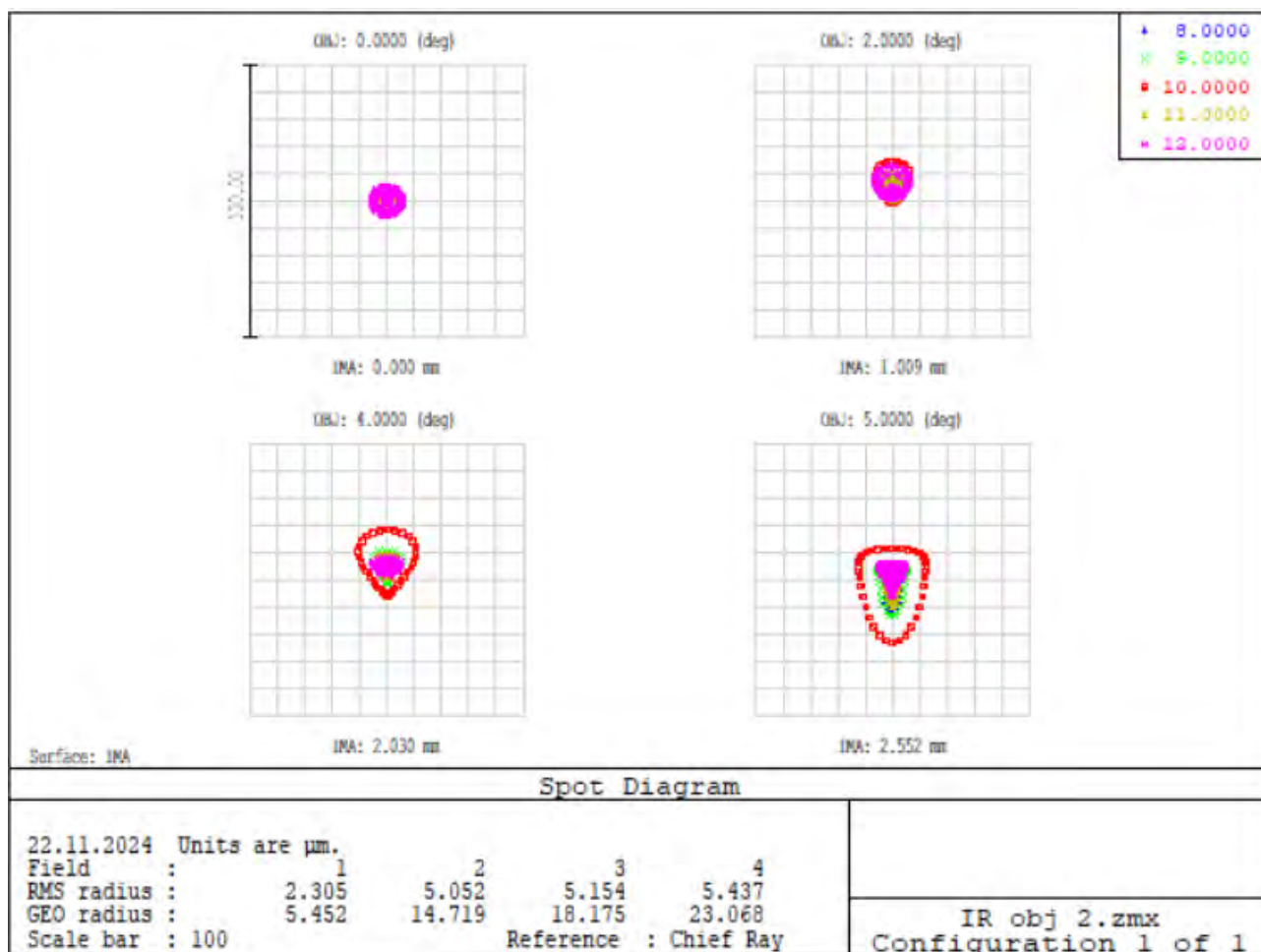


Рисунок 14. Діаграми плям розсіювання оптичної системи

З цієї діаграми видно, що на краю поля зору середньоквадратичний радіус плями становить 5.437 мікрометрів, що менше за половину розміру пікселя. Це свідчить про те, що зображення буде досить чітким [28,29].

Для оптичної системи був обраний приймач випромінювання GST412C.

Технічні характеристики GST412C зображені на рисунку 15.

Model	GST412C
Sensitive Material	Vanadium Oxide
Resolution	400×300
Pixel Size	12μm
Spectral Range	8-14μm
Typical NETD	< 40mK
Digital Output	Built-in 14 bit ADC
Thermal Response Time	< 12ms
Max Frame Rate	50Hz
Power Consumption	≤80mW
Size (mm)	18.5×18.5×3.8 (Without Pin Size)
Weight	<4.5g
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C

Рисунок 15. Технічні характеристики GST412C

Для цього приймача випромінювання було побудовано графік розподілу освітленості, його продемонстровано на рисунку 16.

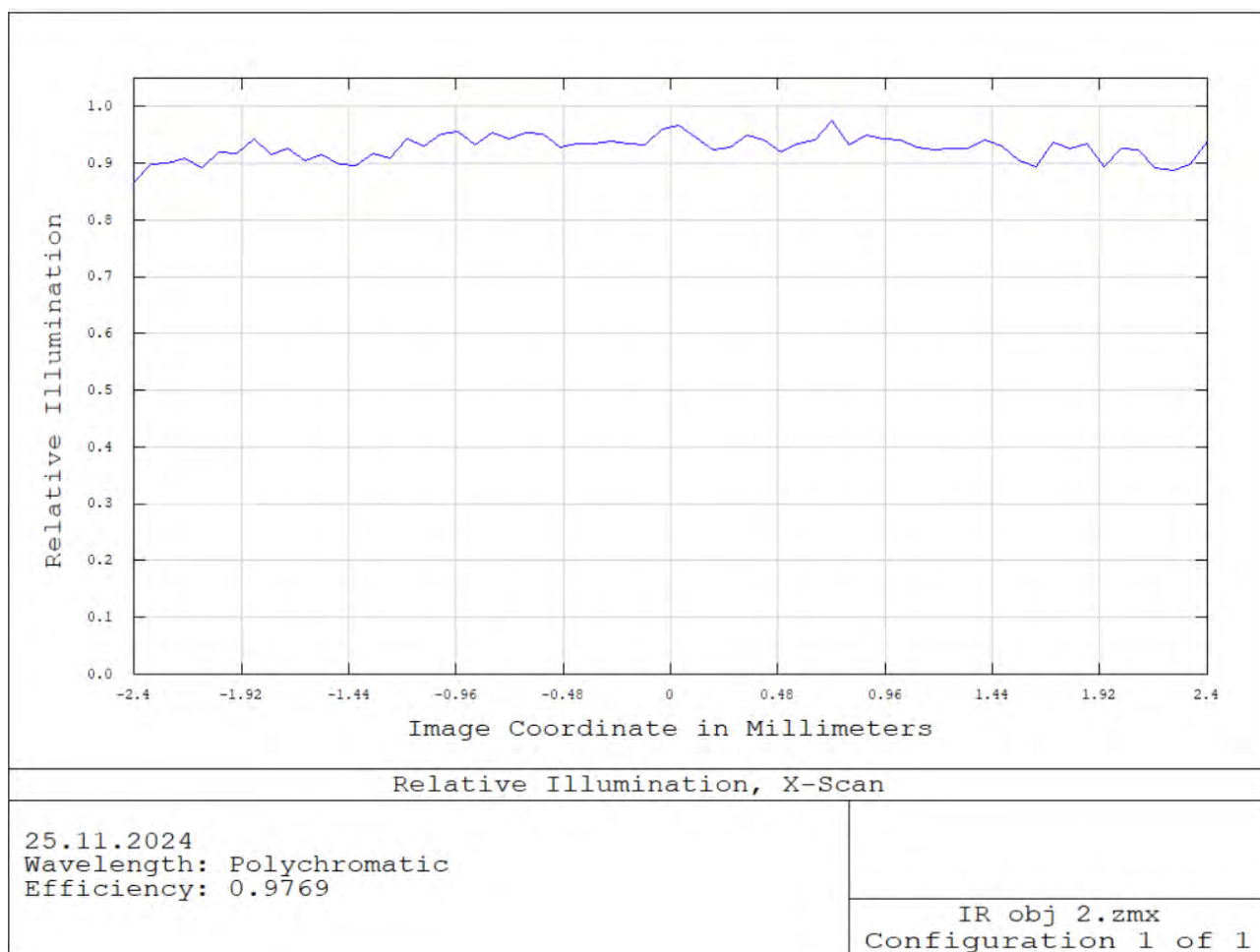


Рисунок 16. Графік розподілу освітленості

Значення ефективності розподілу освітленості на чутливій площадці фотоприймача - 97,7%, що свідчить про високу точність та рівномірність розподілу світла, забезпечуючи оптимальні умови для отримання точних даних у процесі вимірювання.

Таким чином, розроблена модель оптичної системи тепловізора є добре оптимізованою та ефективною, що забезпечує можливість створення високоточного вимірювального приладу.



## 2.3 Конструкція оптичної схеми

Враховуючи, що тепловізійна система використовуватиметься у виробничих умовах, необхідно забезпечити захист оптичної системи від можливих механічних пошкоджень. Для цього перед оптичною системою слід встановити захисну плоскопаралельну пластину.

За захисною пластиною розташовуватиметься лінза, яка фокусуватиме корисний світловий потік на область приймача випромінювання. Оптична система включатиме три меніскові лінзи. Перша лінза з позитивним радіусом кривизни забезпечуватиме збирання випромінювання, друга фокусуватиме його на наступній оптичній поверхні [30,31].

Після фокусування другою лінзою випромінювання спрямовується на третю лінзу, яка забезпечує точне фокусування на матрицю детектора ІЧ-випромінювання (рисунок 17).

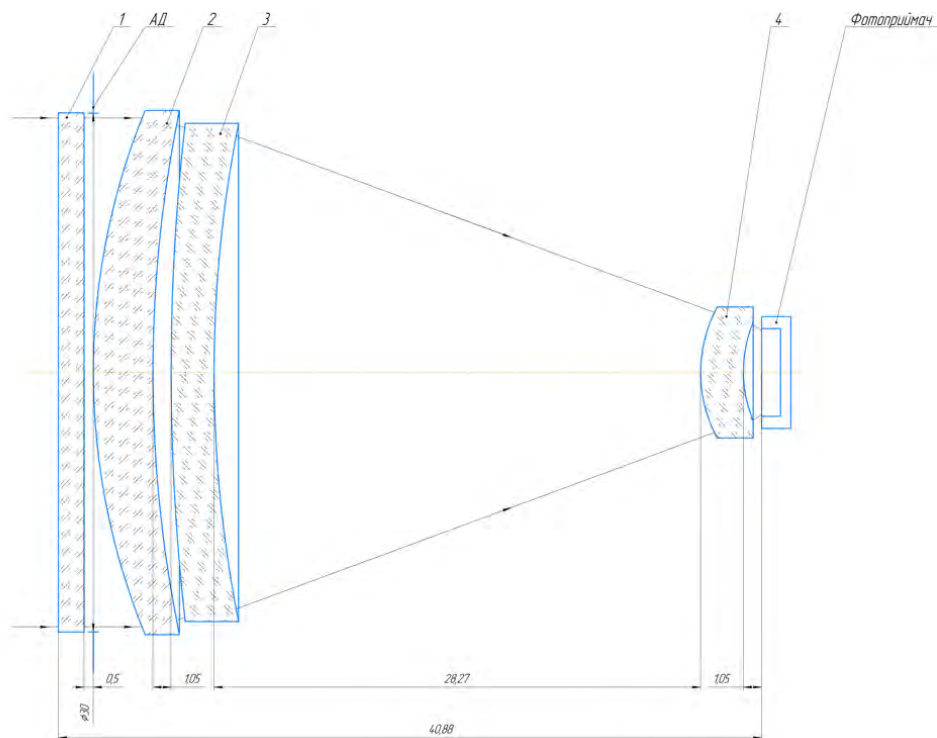


Рисунок 17. Оптична схема тепловізійної системи : АД – апертурна діафрагма; 1 – захисне скло; 2 – перша фокусуєча лінза ; 3 – друга фокусуєча лінза; 4 – третя фокусуєча лінза.

Для роботи в дальньому інфрачервоному діапазоні необхідно використовувати матеріали, які відповідають вимогам цього спектрального діапазону. Після аналізу всіх доступних варіантів було обрано оптимальні оптичні матеріали: германій (Ge) і талій-бром-йодид (KRS-5). Вони забезпечують високу прозорість на потрібних довжинах хвиль:

Ge: 2...15 мкм;

KRS-5: 0,6...39 мкм.

У більшості випадків основним матеріалом для оптичної системи тепловізора є германій. З нього також може виготовлятися плоска захисна пластина, яка виконує роль захисного скла для тепловізора [32,33].

## **Висновки до 2 розділу**

У процесі активної розробки оптичної системи для проєкту "Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж" було вдосконалено та успішно впроваджено детальну схему системи, яка включає інфрачервоний канал. Програмне забезпечення ZEMAX стало ефективним інструментом для синтезу та моделювання цього оптичного каналу, забезпечуючи точний розрахунок параметрів і характеристик системи, а також графічну візуалізацію результатів у вигляді графіків, схем і діаграм.

Канал системи був розроблений з урахуванням високих технологічних стандартів і принципів компактності та доступності, що дозволяє досягти високої якості зображення при мінімальних габаритах. Такий підхід відповідає стратегічній меті використання пристрою для ефективного моніторингу температури, зокрема на масових заходах, де важливими є портативність і зручність встановлення.

Компактність конструкції полегшує монтаж у важкодоступних місцях, а доступна ціна робить систему привабливою для широкого кола користувачів.

## РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Вибір аналогово-цифрового перетворювача

AD7177-2BRUZ — це 32-бітовий високоточний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) від Analog Devices. Він розроблений для прецизійних вимірювань у додатках, що вимагають високої точності, низького рівня шуму та стабільності [34].



Рисунок 18. Аналогово-цифровий перетворювач AD7177-2BRUZ від Analog Devices

Основні переваги AD7177-2BRUZ:

1. Висока розрядність (32 біти):

Забезпечує надзвичайну точність вимірювань, що критично для тепловізійних систем із тонкими температурними градаціями.

2. Низький рівень шуму:

Мінімізація впливу електричних перешкод, що дозволяє використовувати його для слабких сигналів від сенсорів.

3. Гнучкість у налаштуваннях:

Програмовані цифрові фільтри дають змогу налаштувати пристрій для конкретного застосування (баланс між швидкістю та точністю).

#### 4. Надійність у складних умовах:

Широкий температурний діапазон робить його придатним для використання в екстремальних умовах (наприклад, зовнішні моніторингові системи).

#### 5. Компактність:

Малий розмір корпусу (TSSOP-16) спрощує інтеграцію в портативні або обмежені за простором пристрої.

#### 6. Енергоефективність:

Низьке споживання енергії дозволяє використовувати пристрій у батарейних чи автономних системах.

#### 7. Висока стійкість до шумів мережі:

Інтегрована синхронізація на частоту мережі (50/60 Гц) дозволяє виключити шумові впливи змінного струму.

### Технічні характеристики AD7177-2BRUZ

#### Основні параметри:

- Розрядність: 32 біти.
- Кількість каналів:
  - 2 одночасно активних диференційних входи.
  - 4 однополярні входи.
- Швидкість вибірки: до 10.24 кГц на канал.
- Електричні характеристики:
  - Діапазон вхідних сигналів:  $\pm 2.5$  В (диференційний).
  - Вхідний імпеданс: дуже високий (мінімальне навантаження на джерело сигналу).
- Живлення:
  - Аналогова частина: 5 В.
  - Цифрова частина: 1.8–3.3 В.

- Споживання енергії:
  - У режимі роботи: 1.1 мВт.
  - У режимі очікування: <1 мкВт.
- Шум і точність:
  - Рівень шуму: 11 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ .
  - Динамічний діапазон: 155 дБ.
- Інтерфейс і програмування:
  - Комунікаційний інтерфейс: SPI (до 20 МГц).
- Програмовані функції:
  - Вибіркові цифрові фільтри.
  - Конфігурація режимів вибірки та потужності.
- Фізичні параметри:
  - Робочий температурний діапазон: -40°C до +105°C.
  - Корпус: TSSOP-16.
- Особливості:
  - Інтеграція цифрових фільтрів для усунення шуму частоти мережі (50/60 Гц).
  - Вбудований високоточний генератор напруги для калібрування.

### **3.2 Вибір мікроконтролера**

Мікроконтролер STM32L476RG із серії STM32L4 від STMicroelectronics має низьке енергоспоживання, високу продуктивність і багату периферію.



Рисунок 19. Мікроконтролер STM32L476RG від STMicroelectronics

Основні переваги STM32L476RG:

1. Низьке енергоспоживання. Мікроконтролер STM32L476RG ідеально підходить для автономних систем, оскільки має надзвичайно низьке споживання енергії в режимах STOP та STANDBY (0.34 мкА/МГц та 0.28 мкА відповідно), що забезпечує тривалу роботу від батарей.

2. Висока продуктивність. Завдяки вбудованому ядру ARM Cortex-M4 з тактовою частотою до 80 МГц, STM32L476RG забезпечує високу обчислювальну потужність, що дозволяє обробляти складні задачі, включаючи обробку теплових даних та сенсорних сигналів.

3. Широкий спектр периферії. Мікроконтролер має різноманітні інтерфейси: до 3 SPI, 4 I<sup>2</sup>C, 6 UART, а також USB Full-Speed, що дозволяє легко інтегрувати пристрій з іншими модулями та системами.

4. Розширені можливості пам'яті. STM32L476RG має великий обсяг вбудованої пам'яті: 1 МБ Flash для зберігання програмного коду та 128 КБ RAM для ефективної обробки даних в реальному часі, що дозволяє ефективно працювати з великими обсягами даних.

5. Надійність виробника. STM32 — це мікроконтролери від STMicroelectronics, одного з лідерів на ринку вбудованих систем, що забезпечує високу надійність і якість продукції.

6. Розвинена екосистема. STM32L476RG підтримується потужною екосистемою, включаючи STM32Cube, що значно полегшує розробку, налаштування периферії та програмування пристрою. Активна спільнота розробників забезпечує великий доступ до навчальних матеріалів і бібліотек.

Вибір STM32L476RG надасть вам потужний, енергоефективний і багатофункціональний мікроконтролер для створення сучасних вбудованих систем [35,36].

### 3.3 Вибір регістру зсуву

74LS164 є ідеальним рішенням для простих і швидких застосувань, де необхідно розширити кількість виводів або передавати дані паралельно з мінімальними затримками.

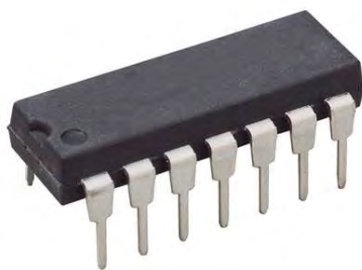


Рисунок 20. Регістр зсуву 74LS164 від Texas Instruments

Основні переваги серед аналогів:

1. Швидка передача даних:

Регістр зсуву 74LS164 підтримує швидкість роботи до 25 МГц, що дозволяє забезпечити швидку передачу даних з мікроконтролером

STM32L476RG через інтерфейс SPI або GPIO, що є критично важливим для високошвидкісних застосувань, таких як збирання та обробка даних з АЦП, як AD7177-2BRUZ.

## 2. Простота інтеграції:

Інтеграція з STM32L476RG через інтерфейси SPI чи GPIO робить використання 74LS164 дуже зручним і зручним для налаштування. Це дозволяє вам значно розширити кількість виходів або підключати додаткові периферійні пристрої за допомогою простого серійно-паралельного зсуву.

## 3. Гнучкість та паралельний вихід:

З допомогою 8 паралельних виходів, 74LS164 дає змогу одночасно передавати дані на кілька пристроїв. Це ідеальне рішення для додатків, де необхідно передавати зібрані дані в реальному часі на різні порти або використовувати їх для управління іншими модулями.

## 4. Енергоефективність:

Завдяки технології Low Power Schottky (LS), регістр 74LS164 має низьке споживання енергії, що робить його ідеальним для енергоефективних систем, таких як автономні пристрої, що працюють від батарей.

## 5. Мала кількість компонентів:

Для простих завдань зсуву та передачі даних не потрібні додаткові складні компоненти. 74LS164 зменшує кількість необхідних елементів на платі, що дозволяє спростити дизайн.

## 6. Висока надійність:

Мікросхема виготовлена за технологією Low Power Schottky, що забезпечує стабільність і надійність роботи навіть в умовах тривалого використання.

## 7. Висока сумісність з іншими модулями:

74LS164 чудово підходить для роботи з мікроконтролерами STM32, такими як STM32L476RG, завдяки простому управлінню через SPI і низьким вимогам до напруги.

## Технічні характеристики:



- Тип мікросхеми: 8-бітний серійно-паралельний регістр зсуву
- Частота роботи: до 25 МГц
- Напруга живлення: 4.5 V – 5.5 V
- Робоча температура: від -40°C до +85°C
- Виходи: 8 паралельних виходів
- Тип виведення: Логічний рівень
- Тип технології: Low Power Schottky (LS)
- Інтерфейс: SPI або GPIO (для серійного підключення)
- Інтерфейс передачі: серійний для передачі даних в паралельний формат
- Пакування: DIP-16, SOIC-16

### 3.3 Вибір мультиплектора

MAX4617 ідеально поєднує в собі швидкість, точність, енергоефективність і сумісність із ключовими компонентами системи.



Рисунок 21. Мультиплексор MAX4617 від Analog Devices

Ось основні причини, чому MAX4617 є оптимальним рішенням:

1. Сумісність з компонентами системи:

MAX4617 легко інтегрується з AD7177-2BRUZ, оскільки забезпечує високу точність передачі аналогових сигналів без втрат і шумів, що є критичним для роботи АЦП.

Його широкий діапазон напруг живлення (від 3V до 12V) забезпечує повну сумісність із мікроконтролером STM32L476RG, який працює на 3.3V або 5V.

#### 2. Висока швидкість перемикання:

Завдяки мінімальній затримці перемикання (до 80 нс), MAX4617 дозволяє швидко комутувати між сигналами, забезпечуючи ефективну роботу навіть у системах реального часу. Це робить його чудовим вибором для моніторингу стану підземних тепломереж, де дані необхідно збирати та обробляти з високою швидкістю.

#### 3. Низьке енергоспоживання:

В умовах використання в енергоефективних системах, таких як автономні тепловізійні пристрої, MAX4617 допомагає значно зменшити загальне споживання енергії, що продовжує термін роботи від батарей.

#### 4. Підтримка двонаправленої передачі:

Можливість двонаправленої передачі сигналу дає гнучкість у дизайні системи. Це дозволяє зручно маршрутизувати як вхідні, так і вихідні сигнали між STM32L476RG і AD7177-2BRUZ, що зменшує кількість необхідних компонентів.

#### 5. Гнучкість у виборі каналів:

MAX4617 має 8 каналів, що дає можливість зручно працювати з кількома сенсорами або джерелами даних у вашій системі. Це спрощує дизайн схеми та забезпечує масштабованість проекту.

#### 6. Мінімальні втрати сигналу:

Низький опір перемикання (до 85 Ом) і високий рівень ізоляції забезпечують точність і стабільність сигналів навіть у складних умовах. Це критично важливо для використання у високоточних вимірювальних системах.

#### 7. Універсальність використання:

MAX4617 підходить для роботи в різних умовах, від побутових пристроїв до промислових систем, завдяки широкому температурному

діапазону (-40°C до +85°C). Це робить його придатним для моніторингу тепломереж у складних кліматичних умовах.

### 3.5 Вибір приймача випромінювання

GST412C є надійним рішенням для високоточних тепловізійних систем завдяки своїй чутливості, стабільності та здатності працювати у важких умовах.

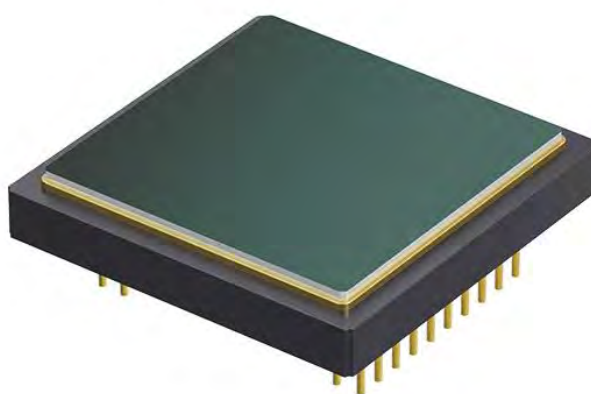


Рисунок 22. Приймач випромінювання GST412C

Основні переваги приймача випромінювання GST412C:

1. Висока чутливість:

GST412C демонструє високу чутливість до інфрачервоного випромінювання, що дозволяє точно виявляти навіть слабкі сигнали. Це робить його ідеальним для використання в системах тепловізійного моніторингу, таких як аналіз стану підземних тепломереж.

2. Широкий спектральний діапазон:

Працює у спектральному діапазоні 8–14 мкм, який є найбільш підходящим для тепловізійних застосувань. Цей діапазон дозволяє ефективно виявляти тепло, що випромінюється об'єктами в реальних умовах.

3. Висока роздільна здатність:

Завдяки передовій конструкції піросенсора, GST412C забезпечує високу роздільну здатність, що сприяє отриманню чітких і точних теплових зображень.

#### 4. Міцність і довговічність:

Приймач має надійну конструкцію, що забезпечує стійкість до механічних впливів і температурних коливань, роблячи його придатним для використання у складних експлуатаційних умовах.

#### 5. Швидкість відгуку:

GST412C забезпечує швидкий час відгуку на зміни теплового випромінювання, що є критичним для динамічних систем, де потрібне реальне відстеження змін.

#### 6. Енергоефективність:

Завдяки низькому енергоспоживанню, приймач може використовуватись у автономних системах із живленням від батарей, що важливо для портативних або мобільних тепловізійних систем.

#### 7. Сумісність із системами обробки даних:

GST412C легко інтегрується з аналого-цифровими перетворювачами, такими як AD7177-2BRUZ, і мікроконтролерами, наприклад, STM32L476RG, завдяки стандартним сигналам виходу.

#### 8. Стійкість до перешкод:

Висока стійкість до електромагнітних і механічних перешкод забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах, таких як промислові зони або відкриті середовища [37,38].

### **3.6 Вибір БПЛА**

В основу системи було покладено БПЛА Freefly Alta X.



Рисунок 23. БПЛА Freefly Alta X

Вибір цього БПЛА пояснюється низкою важливих переваг:

1. Висока вантажопідйомність:

Freefly Alta X може перевозити до 9 кг корисного навантаження, що дозволяє інтегрувати важке обладнання, включаючи тепловізійну систему на основі GST412C, AD7177-2BRUZ, та STM32L476RG, а також додаткові сенсори або камери.

2. Тривалий час польоту:

Залежно від конфігурації, дрон забезпечує тривалість польоту до 50 хвилин навіть з навантаженням, що є ідеальним для тривалих місій, таких як моніторинг підземних тепломереж.

3. Модульність і гнучкість:

Alta X підтримує широкий спектр додаткових пристроїв завдяки модульній конструкції та відкритій платформі. Це дозволяє адаптувати дрон під специфічні задачі, наприклад, встановити кастомізовану тепловізійну систему.

4. Надійність у складних умовах:

Завдяки міцній конструкції з використанням авіаційних матеріалів, Alta X демонструє стабільність і надійність навіть за екстремальних умов експлуатації, таких як сильний вітер, низькі або високі температури.

5. Швидке розгортання:

Дрон розгортається за лічені хвилини, що зручно для оперативних місій. Його конструкція дозволяє швидко встановлювати корисне навантаження і починати політ.

6. Передова система управління:

Оснащений інтуїтивною системою автопілота, яка підтримує функції автоматичного польоту, планування маршрутів, а також RTK для високоточної навігації.

7. Компактність у транспортуванні:

Хоча Alta X має високу вантажопідйомність, він залишається компактним і зручним для транспортування завдяки складаній конструкції.

8. Сумісність із різними датчиками:

Дрон підтримує інтеграцію не лише тепловізійного обладнання, але й інших сенсорів (лідарів, мультиспектральних камер тощо), що робить його універсальним для різних завдань.

9. Ефективність енергоспоживання:

Інженери Freefly оптимізували енергоспоживання, що дозволяє отримати тривалий час польоту навіть з високою вагою навантаження.

10. Активна спільнота та підтримка виробника:

Компанія Freefly забезпечує активну технічну підтримку, регулярні оновлення програмного забезпечення та надає документацію для інтеграції додаткових модулів.

Freefly Alta X – це надійний, високопродуктивний дрон, який забезпечує стабільність польотів, тривалий час роботи, простоту інтеграції з тепловізійними системами та гнучкість для адаптації до майбутніх потреб [39].

### **Висновки до розділу 3**

Одним із пріоритетних завдань стало ретельне відбирання комплектуючих для системи, зокрема таких, як БПЛА, матричні приймачі, мультиплектори та інші ключові компоненти. У процесі вибору враховувалися

технічні вимоги, особливості взаємодії елементів і високі стандарти ефективності та надійності.

Обрані комплектуючі забезпечують максимальну сумісність і стабільну роботу тепловізійної системи, яка призначена для моніторингу стану підземних тепломереж. Це дозволяє досягти точності вимірювань, підвищує надійність системи в реальних умовах експлуатації та сприяє зниженню витрат на обслуговування інфраструктури.

Цей етап розробки є визначальним для створення інноваційного продукту, що відповідає сучасним вимогам ринку. Результатом стане технологічно вдосконалена тепловізійна система, яка забезпечить високу функціональність, конкурентоспроможність і ефективність у застосуванні для діагностики теплових мереж та інших сфер, де важлива точність і надійність моніторингу.

## **РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ**

У цьому розділі розглядається концепція пускового проекту, присвяченого розробці автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж. Аналізується можливість виведення цього продукту на ринок, а також оцінюються його переваги та потенційні ризики під час впровадження.

Основна ідея стартапу полягає у створенні автоматизованої системи, яка використовує тепловізійний канал для виявлення витоків у тепломережах.

Головна мета проекту – підвищити ефективність і точність діагностики можливих проблем у тепломережах.

### **4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проекту**

Проект передбачає розробку автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж. Система використовує тепловізійні зображення та алгоритми для виявлення зон з підвищеним тепловим випромінюванням, що може свідчити про пошкодження ізоляції або виток теплоносія. Основна мета проекту – підвищення точності та ефективності виявлення дефектів у тепломережах, що сприятиме зменшенню втрат теплової енергії, забезпеченню стабільної роботи системи та скороченню витрат на її обслуговування.



Таблиця 4.1 - Інформаційна карта стартап-проєкту

Назва блоку	Характеристика
1	2
<b>Загальна характеристика стартап-проєкту</b>	
Назва стартаппроєкту	Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж
Проблематика, яку вирішує стартаппроєкт	Неефективний контроль стану тепломереж, що призводить до втрат енергії, аварій і високих витрат на ремонт.
Головні цілі та завдання проєкту	Підвищення ефективності моніторингу тепломереж, зменшення енергетичних втрат і витрат на технічне обслуговування.
Головні цільові групи, на які спрямований проєкт	Підприємства теплопостачання, муніципальні служби, промислові компанії, які експлуатують теплові мережі.
<b>Автори та команда стартап-проєкту</b>	
Автори стартаппроєкту	Юзьвак Олександр Олегович
Команда стартаппроєкту	Юзьвак Олександр Олегович
<b>Опис продукту стартап-проєкту</b>	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	ThermoDrone — це автоматизована система моніторингу підземних тепломереж, що інтегрується на борт безпілотного літального апарата (БПЛА). MVP включає розроблену оптичну схему, підібрані комплектуючі для збору тепловізійних даних під час польоту. Основна функція — виявлення аномалій у розподілі тепла, які можуть свідчити про витоки або пошкодження. Аналіз даних та алгоритмічна обробка поки не передбачені, акцент зроблено на створенні базової інфраструктури для подальшого розвитку продукту.

Сфера застосування та функціональне призначення продукту	Використання в інфраструктурних об'єктах для моніторингу стану підземних тепломереж і раннього виявлення потенційних проблем.
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Автоматичне виявлення теплових аномалій, висока точність аналізу, зменшення витрат на обслуговування, інтеграція з іншими системами моніторингу.
Стадія розробки продукту стартапу	Розробка прототипу: система проходить тестування в реальних умовах на об'єктах тепломереж.
Технічні характеристики	Система складається з тепловізійного датчика, інтегрованого інтерфейсу для збору даних, апаратної платформи для аналізу і зберігання інформації, а також автономного блоку живлення.
Супровід продукту	Технічне обслуговування обладнання, навчання користувачів для ефективної експлуатації, регулярна перевірка та калібрування датчиків.
<b>Забезпечення стартап-проєкту</b>	
Необхідні ресурси	Фінансування для розробки та тестування, доступ до підземних тепломереж для польових випробувань, кваліфікована команда інженерів і теплотехніків.
Потреба в інвестиціях	Початкові інвестиції оцінюються в 50000\$ для створення прототипу, тестування системи та виведення її на ринок.
Інтелектуальна власність	Реєстрація патенту на унікальну технологію обробки тепловізійних даних і конструкцію системи, авторські права на технічну документацію.
<b>Результати стартап-проєкту</b>	

Термін реалізації стартап-проєкту	Реалізація проєкту запланована на 12 місяців, включаючи етапи розробки, тестування і запуску продукту на ринок.
Плановані кількісні показники стартап-проєкту	У перший рік впровадження очікується встановлення системи на 10 об'єктах; збільшення продажів на 20% щорічно.
Якісні показники стартап-проєкту	Зменшення теплових втрат на 15%, скорочення аварій на 20%, підвищення довіри до роботи тепломереж серед споживачів.
Загальні очікувані результати	Створення ефективної автоматизованої системи, що підвищує безпеку, зменшує витрати на обслуговування та сприяє енергозбереженню.

Таблиця 4.2. Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж	1. Теплопостачальні компанії та комунальні служби для управління міськими тепломережами.	- Раннє виявлення дефектів і пошкоджень тепломереж. - Зменшення втрат теплової енергії. - Скорочення витрат на ремонт і обслуговування. - Підвищення надійності теплопостачання.
	2. Промислові підприємства для контролю стану внутрішніх тепломереж на виробничих об'єктах.	- Оптимізація використання ресурсів. - Зниження ризиків аварій. - Забезпечення стабільності технологічних процесів.

У цій таблиці представлено огляд концепції стартап-проєкту та потенційних ринкових сегментів, де можна знайти майбутніх користувачів системи. Основні напрями застосування включають впровадження автоматизованої тепловізійної системи для швидкого та точного виявлення пошкоджень у підземних тепломережах із подальшою ліквідацією наслідків, а також для діагностики стану труб, що дозволяє своєчасно проводити їх ремонт або заміну.

Система забезпечує значні переваги для користувачів, зокрема зменшення кількості аварій і скорочення витрат на технічне обслуговування. Наступним етапом дослідження став аналіз потенційних техніко-економічних переваг цієї системи порівняно з існуючими ринковими пропозиціями. Проведено оцінку конкурентної позиції, визначення ключових відмінностей, переваг і недоліків кожного аналога. Результати аналізу наведені в 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 проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Швидкість виявлення пошкоджень	Автоматичне, мінімальний час реагування	Ручний огляд	Датчики із затримкою передачі даних	Складні інтеграційні системи	Висока вартість впровадження	Швидка діагностика аварій	Висока ефективність і оперативність
2.	Точність діагностики	Виявлення навіть малих аномалій	Менш точне обладнання	Чутливість до людського фактору	Застарілі технології	Початкова залежність від умов тестування	Стабільна точність при певних умовах	Висока точність і автономність
3.	Інтеграція в існуючу інфраструктуру	Легка адаптація	Складні процеси інтеграції	Потреба у додаткових модулях	Відсутність масштабованості	Початкові витрати на адаптацію	Модульність для певних умов	Легка інтеграція
4.	Економічна ефективність	Швидка окупність	Високі витрати на утримання	Нестабільна вартість обслуговування	Значні інвестиції	Висока початкова ціна	Окупність лише за тривалого використання	Економія на обслуговуванні
5.	Екологічність	Мінімізація теплових втрат	Ігнорування енергоефективності	Часткова адаптація до енергозбереження	Відсутність аналізу втрат	Початкові інвестиції в обладнання	Локальний вплив	Зниження впливу на довкілля

Був проведений детальний аналіз техніко-економічних характеристик та властивостей кожної пропозиції, в якому визначено переваги та недоліки як для запропонованого стартап-проекту, так і для конкурентів. Результати показали, що автоматизована тепловізійна система для моніторингу підземних тепломереж є значно більш доступною порівняно з іншими рішеннями на ринку. Вона також має унікальні можливості для мультиспектрального сканування, чого не пропонують конкуренти, а також здатність здійснювати вимірювання в важкодоступних зонах.

Наступним етапом було проведення аудиту технологій, необхідних для реалізації проекту. Для оцінки життєздатності цієї концепції було детально проаналізовано основні складові, результати якого представлені в Таблиці 4.3.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Автоматизована тепловізійна система для моніторингу підземних тепломереж	Технологія тепловізійного сканування	Наявні, використовується в багатьох галузях	Технологія доступна для використання
2.	Моніторинг за допомогою БПЛА	БПЛА для візуального огляду трубопроводів	Необхідно доопрацювати для підземних мереж	Технологія частково доступна, потребує адаптації
3.	Мультиспектральне сканування	Мультиспектральні камери для виявлення аномалій	Необхідно доопрацювати для цієї сфери	Технологія доступна, але потребує інтеграції
4.	Адаптація до існуючих тепломереж	Система інтеграції з існуючими мережами	Розробляється в рамках проекту	Технологія доступна в обмеженому вигляді
5.	Обробка даних та автоматизоване прийняття рішень	Програмне забезпечення для аналізу теплових зображень	Необхідно розробити спеціалізоване ПО	Технологія потребує розробки програмного забезпечення
Обрана технологія реалізації ідеї проекту:				

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що вартість нашого проєкту може варіюватися в залежності від вибору компонентів. Якщо замовник прагне отримати більш висококласну модель, можна використати якісніші комплектуючі, замовлені з інших країн, а також вдосконалене програмне забезпечення, розроблене фрілансерами. У випадку, якщо замовника турбує ціна, можливо виготовити деталі та розробити програмне забезпечення власними силами, що дозволить знизити вартість продукту.

#### **4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту**

Аналіз ринкових перспектив для впровадження нашого проєкту включає оцінку можливостей та виявлення потенційних ризиків, які можуть перешкоджати успішній реалізації. Такий підхід дозволяє глибше зрозуміти ринкове середовище та сформувані ефективні стратегії для розвитку.

Дослідження ринкових можливостей охоплює вивчення попиту на системи моніторингу стану тепломереж, визначення ключових сегментів цільової аудиторії, аналіз конкурентів і їхніх недоліків, а також ідентифікацію основних тенденцій, що впливають на галузь.

Водночас оцінка загроз зосереджується на факторах, які можуть негативно вплинути на успішність проєкту. Серед таких факторів – зміни у регуляторній базі, високий рівень конкуренції, технологічні виклики та економічна нестабільність.

Комплексний підхід до аналізу ринку дає змогу визначити перспективи для виходу на ринок, розробити заходи щодо мінімізації ризиків та забезпечити максимальну ефективність реалізації проєкту.

Для початку проведемо аналіз попиту, зокрема наявність попиту, обсяг і динаміку 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	3-5 основних компаній на ринку тепловізійних систем для моніторингу інфраструктури
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500 000 - 1 000 000 грн / рік (в залежності від розміру проєктів та замовників)
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає (завдяки підвищенню попиту на інноваційні системи моніторингу)
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до технологій, необхідність великих капіталовкладень на початковій стадії
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність сертифікації відповідно до стандартів безпеки та якості для енергетичних та комунальних підприємств
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15-20% (залежно від рівня конкуренції та інноваційності рішення)

Отже, проведений аналіз попиту показує, що ринок тепловізійних систем для моніторингу підземних тепломереж швидко зростає, що сприяє збільшенню попиту та обсягів продажів. Виявлено, що для успішної реалізації проєкту, ймовірно, буде необхідно отримати відповідні сертифікації, зокрема для використання БПЛА в моніторингових системах.

Наступним етапом є визначення потенційних цільових груп клієнтів, їхніх характеристик та формування вимог до продукту для кожної з цих груп, що буде представлено в 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.	Підвищення ефективності моніторингу тепломереж	Енергетичні та комунальні підприємства	Великі підприємства потребують складніших рішень	Точність, швидкість, автоматизація
2.	Виявлення витоків у тепломережах	Муніципалітети, обслуговуючі компанії	Міста шукають складніші рішення, села — простіші	Надійність, простота, низька вартість
3.	Зниження витрат на ремонти та обслуговування	Теплоенергетичні компанії, інвестори	Інвестори шукають довгострокову вигоду	Економічність, довговічність, інтеграція
4.	Забезпечення стабільної роботи інфраструктури	Технічні служби, будівельні компанії	Орієнтовані на стабільність і мінімізацію збоїв	Легкість інтеграції, ефективність

Аналіз потенційних клієнтів для стартапу "Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж" показує широкий спектр ринкових можливостей. Ця система може бути застосована в енергетичних компаніях, комунальних підприємствах, а також у муніципальних службах, що займаються обслуговуванням теплових мереж. Основні вимоги споживачів, такі як швидкість виявлення проблем, точність моніторингу та можливість віддаленого керування, визначають основні характеристики системи для задоволення потреб різних груп клієнтів.

Також важливо врахувати потенційні ризики, що можуть виникнути при використанні цієї технології. Ігнорування цих факторів ускладнює об'єктивну оцінку перспектив виходу на ринок та ефективного реагування на можливі проблеми (Таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція на ринку	Поява нових конкурентів з кращими або дешевшими продуктами	Розробка унікальних характеристик системи, покращення якості та надійності
2.	Технологічні зміни	Швидкий розвиток нових технологій, що можуть замінити тепловізійні системи	Оновлення технологій, інтеграція нових розробок для покращення продукту



3.	Законодавчі зміни	Зміни в екологічних або безпекових стандартах, які можуть вимагати додаткових сертифікацій	Своєчасне оновлення сертифікацій та адаптація продукту до нових вимог
4.	Економічна нестабільність	Зниження попиту через економічні кризи або бюджетні скорочення	Оптимізація витрат, пошук нових ринків збуту, диверсифікація продукції
5.	Висока вартість матеріалів	Зростання вартості комплектуючих або сировини, що впливає на собівартість продукції	Перегляд постачальників, використання альтернативних матеріалів
6.	Проблеми з безпекою даних	Зломи або витоки інформації через віддалене керування системою	Розробка та впровадження додаткових заходів безпеки, шифрування даних
7.	Погіршення екологічних умов	Зміни клімату або природні катастрофи, які можуть вплинути на роботу тепломереж	Адаптація продукту до нових умов, розробка спеціалізованих рішень для важких умов

Аналіз факторів загроз дозволяє виявити потенційні ризики для впровадження автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж та визначити можливі дії компанії для їх мінімізації. Регулярні технічні огляди, покращення характеристик системи, співпраця з регулюючими органами та стратегічне планування адаптації допоможуть знизити вплив негативних факторів і забезпечити стабільне функціонування системи на ринку.

Аналіз можливостей дає змогу виявити ключові перспективи та переваги, які проект може використати для успішного виходу на ринок (Таблиця 4.8).

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Зростання попиту на інноваційні технології	Впровадження нових рішень для моніторингу та обслуговування підземних тепломереж	Активний маркетинг та просування продукту, розширення ринку збуту

2.	Розвиток інфраструктури енергетичних мереж	Ремонт та модернізація застарілих тепломереж з використанням новітніх технологій	Участь у тендерах на постачання та сервісне обслуговування тепловізійних систем
3.	Підвищення вимог до енергетичної ефективності	Необхідність у моніторингу стану тепломереж для підвищення їх ефективності та безпеки	Розробка оновлених функціональних можливостей системи, що відповідають новим вимогам
4.	Співпраця з державними та муніципальними органами	Збільшення бюджетного фінансування для проектів модернізації інфраструктури тепломереж	Розвиток партнерських відносин з державними органами, участь у державних програмах

У таблиці 4.8 наведено ключові перспективи для автоматизованої тепловізійної системи, призначеної для моніторингу стану підземних тепломереж. Реалізація цих перспектив передбачає інтеграцію інноваційних технологій, вдосконалення маркетингових підходів, активну участь у розробці стандартів безпеки, налагодження стратегічних партнерств та впровадження світових трендів у сфері тепловізійних рішень для підвищення ефективності системи.

Таблиця 4.9 присвячена аналізу конкуренції на ринку. Вона містить 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)
Монополістична конкуренція	На ринку є кілька постачальників з різними технологічними рішеннями для моніторингу стану підземних тепломереж,	Компанія повинна активно працювати над поліпшенням функціональних характеристик системи,

	кожен з яких має свої унікальні особливості.	вдосконалюючи технології для збереження конкурентної переваги.
Локальна конкуренція	Конкуренція між компаніями обмежена певним географічним регіоном, де представлені різні рішення для моніторингу тепломереж.	Зосереджуватися на розробці рішень, що найкраще підходять для специфічних потреб регіону, покращувати локальну підтримку та швидкість реагування на запити.
Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція серед компаній, що працюють в рамках однієї галузі, зокрема у сфері моніторингу підземних тепломереж.	Вдосконалення технологій, що дозволяють точніше і швидше оцінювати стан мереж, допоможе забезпечити конкурентні переваги в межах галузі.
Товарно-родова конкуренція	Конкуренція серед різних типів продуктів для моніторингу тепломереж, які мають різні технічні характеристики та функціональні можливості.	Для отримання переваги потрібно вдосконалювати технічні можливості продукту, додавати нові функції для точнішого виявлення проблем на мережах.
Нецінова конкуренція	Основна конкуренція зосереджена не на ціні, а на якості та технологічних характеристиках продуктів.	Компанія повинна постійно вдосконалювати свої технології, додаючи нові інноваційні можливості для підвищення ефективності системи та її привабливості для користувачів.
Не марочна конкуренція	Конкуренція між компаніями з подібними продуктами, де	Зосередитися на розробці та вдосконаленні продукту, покращенні його

	важливішими є функціональність та технологічні характеристики, а не бренд.	функціональності, що дозволить залучити більше споживачів, орієнтуючись на реальні потреби ринку.
--	--	---

Зростання попиту, технологічні виклики конкурентів та вимоги законодавства визначають необхідність розробки стратегій розвитку, оптимізації та співпраці з органами контролю. Для забезпечення конкурентоспроможності на ринку компанія має активно адаптуватися до змін у галузевих екологічних та етичних стандартах.

Після аналізу конкурентів буде проведено більш детальне дослідження умов конкуренції у сфері автоматизованих тепловізійних систем для моніторингу стану підземних тепломереж.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Великі компанії, що займаються розробкою тепловізійних систем для моніторингу інфраструктури.	Інноваційні стартапи, що можуть вийти на ринок із аналогічними розробками.	Постачальники компонентів: тепловізори, сенсори, програмне забезпечення.	Комунальні підприємств а, енергетичні компанії, муніципальні тепломережі.	Альтернативні методи діагностики: ультразвукові системи, акустичні або магнітні методи.
Висновки:	Необхідно досліджувати їхні продукти, щоб	Здійснити моніторинг нових	Важливо укласти довгостроков	Розробити індивідуальні рішення,	Необхідно забезпечи

запропонувати вищу якість або кращу ціну.	гравців та бар'єрів входу на ринок.	і контракти для стабільного постачання компонентів.	враховуючи специфічні вимоги.	ти інноваційність продукту, щоб випереджати альтернативні технології.
---	-------------------------------------	---	-------------------------------	---

Аналіз конкурентного середовища для проекту "Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж" демонструє помірну інтенсивність конкуренції в галузі. Розуміння переваг і недоліків, можливих ризиків та перспектив дозволяє оптимізувати бізнес-процеси та утримувати лідерські позиції на ринку.

"Обґрунтування факторів конкурентоспроможності" забезпечує повний аналіз важливих аспектів, які впливають на конкурентоспроможність нашої системи в умовах ринкової конкуренції. Цей підхід сприятиме вдосконаленню ключових характеристик продукту та досягненню стратегічних переваг на ринку.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Технологічна інноваційність	Забезпечує швидке та точне визначення пошкоджень, перевершуючи традиційні методи діагностики.

2.	Доступність обслуговування	Простота інтеграції та низькі витрати на технічне обслуговування.
3.	Економічна ефективність	Скорочує втрати тепла та витрати на ремонт, підвищуючи економію для споживачів.
4.	Відповідність екологічним стандартам	Сприяє енергоефективності та зменшенню впливу на довкілля.
5.	Гнучкість застосування	Підходить для тепломереж різної протяжності та конфігурації.

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	18				+			
2.	Велика кількість постачальників	16	+						
3.	Висока якість	19							+
4.	Технічна підтримка	17			+			+	
5.	Ціна	15							

Аналіз таблиць 4.11 і 4.12 показує, що ключові фактори конкурентоспроможності відіграють значну роль, особливо завдяки доступній ціні та універсальності застосування. Основними перевагами є висока якість автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу підземних тепломереж та забезпечення технічної підтримки протягом усього терміну експлуатації.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока точність виявлення пошкоджень мереж.</li> <li>2. Можливість автоматизованого моніторингу 24/7.</li> <li>3. Простота інтеграції з існуючими мережами.</li> <li>4. Зменшення втрат енергії завдяки ранньому виявленню проблем.</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока вартість впровадження системи.</li> <li>2. Залежність від якісних тепловізійних сенсорів.</li> <li>3. Потреба в додатковому навчанні персоналу.</li> <li>4. Відсутність розвинутої бази клієнтів на початковому етапі.</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростання попиту на енергоефективні рішення.</li> <li>2. Підтримка державних ініціатив у сфері енергозбереження.</li> <li>3. Розширення на міжнародні ринки.</li> <li>4. Використання інноваційних технологій для підвищення ефективності.</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкуренція з великими міжнародними компаніями.</li> <li>2. Зміни в законодавстві, що регулює теплові мережі.</li> <li>3. Економічні коливання, які можуть вплинути на бюджет клієнтів.</li> <li>4. Технологічні ризики, пов'язані з можливими збоями.</li> </ol>

SWOT-аналіз стартап-проекту "Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж" висвітлив ключові переваги, зокрема високу точність системи та можливість цілодобового моніторингу. Водночас, проєкт стикається із викликами, такими як значні початкові витрати та залежність від постачальників обладнання. Серед перспектив для розвитку – зростання попиту на енергоефективні технології та можливість впровадження інновацій у тепловізійній галузі. Однак, потенційними загрозами залишаються конкуренція з великими гравцями ринку та ризики змін у регуляторній базі. Для успішної реалізації проєкту необхідно стратегічно використовувати сильні сторони, мінімізувати слабкі та активно адаптуватися до ринкових умов.

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.	Вихід на ринок через партнерство з великими енергетичними компаніями	Висока	6-12 місяців
2.	Запуск власного маркетингового кампанії через онлайн-платформи	Середня	3-6 місяців
3.	Вихід через тендери та державні закупівлі	Середня	9-12 місяців
4.	Пошук інвестицій для розширення виробничих потужностей	Висока	12-18 місяців
5.	Розробка і запуск програмного забезпечення для інтеграції з існуючими системами	Висока	4-6 місяців

Оцінка сильних і слабких сторін, можливостей і ризиків стартап-проекту дозволяє визначити ключові підходи до залучення ресурсів. Основні стратегії включають використання переваг проекту для мінімізації ринкових загроз, отримання державної підтримки у вигляді замовлень, а також залучення інвесторів для виходу на міжнародні ринки. Запропоновані варіанти мають високі шанси на успішну реалізацію, а строки їх виконання є максимально ефективними.



### 4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Для розробки ринкової стратегії спершу потрібно визначити підхід до охоплення ринку, що передбачає визначення 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.	Енергетичні компанії, що займаються розподілом та обслуговуванням теплових мереж	Середня: потреба в інноваціях, однак бюджет обмежений	Високий, оскільки вони потребують технологій для зниження витрат на обслуговування та запобігання витокам	Висока: є декілька конкурентів на ринку	Помірна: вхід можливий за умов наявності досвіду та фінансових ресурсів
2.	Комунальні підприємства, що здійснюють моніторинг теплових мереж	Висока: великий інтерес до технологій для підвищення ефективності	Середній, залежить від бюджету міських підприємств	Середня: конкуренція з іншими постачальниками технологій	Легка: є потенціал для виходу з урахуванням конкурентоспроможної ціни та якості

3.	Приватні компанії, що займаються інженерними мережами та тепломережами	Середня: розуміння потреби в системах для моніторингу, але варіативність вимог	Низький до середнього, залежить від розміру компанії	Низька: ринок не так насичений	Легка: можливість виходу, але конкуренція з боку більш великих компаній
4.	Спеціалізовані підрядники для інфраструктурних проєктів, що займаються обслуговуванням тепломереж	Низька: нова технологія, потребує впровадження та навчання	Низький, але з потенціалом зростання при впровадженні	Низька: мало конкурентів, ринок початковий	Легка: можливість входу завдяки спеціалізації на окремих видах послуг
Які цільові групи обрано: енергетичні компанії, комунальні підприємства, приватні компанії та підрядники.					

Дослідження цільових груп клієнтів для проєкту «Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж» демонструє різний рівень зацікавленості, попиту, конкуренції та складності проникнення в ринкові сегменти. Великі компанії, що керують тепломережами, виявляють значну зацікавленість у впровадженні новітніх технологій, однак стикаються з жорсткою конкуренцією та суттєвими бар'єрами входу. Муніципальний сектор та житлові підприємства характеризуються збалансованими показниками у всіх аспектах, що робить цей сегмент перспективним для реалізації проєкту. Агропромислові комплекси та регіональні теплопостачальні організації також демонструють значний потенціал, але для успішного впровадження системи необхідний ретельний стратегічний підхід для подолання конкурентних викликів.

У таблиці 4.16 представлено напрямок розвитку продукту, орієнтований на підвищення точності роботи системи. Для охоплення ринку обрано стратегію диференційованого маркетингу.

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.	Впровадження автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж	Диференційований маркетинг	Висока точність і надійність системи, інноваційні технології, технічна підтримка	Інноваційний розвиток і розширення ринку з акцентом на високу якість та адаптацію продукту під потреби різних сегментів споживачів
2.	Підвищення точності та ефективності роботи системи	Фокусування на сегментах з високим попитом	Підвищена точність виявлення аномалій, швидкість реакції на зміни	Стратегія лідерства в якості з акцентом на забезпечення надійності та безпеки
3.	Розширення продуктової лінійки для інших сфер використання	Географічне та галузеве охоплення	Розширення асортименту для інших галузей, адаптація до різних умов	Диференціація і диверсифікація для зміцнення позицій на нових ринках

Розроблені стратегії для розвитку проєкту спрямовані на підвищення точності системи, розширення її функціоналу, покращення безпеки та вихід на нові географічні ринки. Використання таких підходів, як цільовий, диференційований і загальний маркетинг, забезпечує ефективне досягнення поставлених цілей. Кожна стратегічна альтернатива володіє унікальними конкурентними перевагами, що дозволяє визначити пріоритетні напрями розвитку, включаючи функціональне вдосконалення, диференціацію продукту, а також підвищення його надійності та рівня безпеки.

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 проєкт «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	Компанія планує залучати нових споживачів шляхом диференціації продукту.	Ні	Диференційована
	Ні	Компанія націлена на нових клієнтів, які потребують інноваційних рішень для моніторингу тепломереж.	Ні	Лідерства

Аналіз базової стратегії конкурентної поведінки показав, що проєкт не є новатором у своїй галузі, однак спрямований на залучення нової клієнтської аудиторії. Компанія відмовляється від прямого копіювання характеристик продуктів конкурентів, обравши шлях диференціації. Такий підхід дозволяє

розробити унікальні пропозиції, які будуть привабливими для цільової аудиторії та забезпечать конкурентні переваги на ринку.

З урахуванням очікувань клієнтів щодо постачальників і продуктів у вибраному сегменті, а також на основі обраної стратегії розвитку та ринкової поведінки, формується стратегія позиціонування. Її метою є створення чіткої ідентичності проекту на ринку, яку легко розпізнаватимуть споживачі.

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.	Висока точність і надійність системи	Підвищення точності продукту, розширення функціональності	Висока точність виявлення витоків, вдосконалена функціональність	Інновації, надійність, безпека
2.	Простота інтеграції та використання	Розширення географії ринку, вдосконалення системи безпеки	Простота впровадження, підтримка користувачів	Простота, підтримка, ефективність
3.	Підвищення рівня безпеки для кінцевих споживачів	Збільшення безпеки та надійності продукту	Високий рівень безпеки, технічна підтримка протягом усього терміну використання	Безпека, довіра, інноваційність

Цей підрозділ сприяв визначенню основної стратегії ринкової поведінки компанії, яка окреслює її підхід до взаємодії з ринком.

#### 4.4 Розробка маркетингової програми та планування стартап-проекту

Перший крок у створенні маркетингової програми полягає в розробці концепції продукту, яка буде запропонована споживачеві.

Цей розділ присвячено глибокому аналізу та плануванню етапів впровадження автоматизованої системи тепловізійного моніторингу підземних тепломереж. Будуть розглянуті організаційні аспекти, стратегії реалізації та визначені ключові фактори, що впливатимуть на успішне здійснення проекту також представлено детальну структуру бізнес-моделі, яка описує ключові аспекти діяльності стартапу.

У таблиці 4.19 представлені узагальнені результати аналізу конкурентних переваг товару.

Таблиця 4.19. Визначення основних переваг концепції перспективного продукту

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Підвищення ефективності моніторингу стану трубопроводів	Забезпечення точного та оперативного виявлення витоків	Висока точність термографічного аналізу, використання БПЛА для швидкого огляду
2.	Зменшення часу на обслуговування тепломереж	Автоматизоване та дистанційне моніторинг без	Повна автоматизація процесу з можливістю

		необхідності часті перевірки вручну	реального часу аналізу
--	--	--	---------------------------

Аналіз основних переваг концепції майбутнього продукту, автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу підземних тепломереж, показує її інноваційність та високу ефективність у контролі стану мереж. Завдяки тепловізійній технології система забезпечує моніторинг у режимі реального часу, сприяє зниженню витрат на обслуговування, мінімізує ризики пошкоджень та оперативно реагує на потенційно небезпечні ситуації з високою точністю.

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Тепловізійна система		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Автоматизований моніторинг	1.Нм	1.Тл
	2. Дистанційне виявлення витоків тепла	2.М	2.Тх
	3. Висока точність вимірювань	3.М	3.Е
	4. Робота в реальному часі	4.М	4.Вр
	5. Енергоефективність	5.М	5.ОР
	Якість: відповідає нормам ДСТУ В 7371:2020		
	Пакування: програмне забезпечення записане на компакт диск.		
	Марка: UA THERMAL VISION		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: надається можливість протестувати прилад до купівлі		
	Після продажу: в наявності є гарантія на прилад		

Таблиця 4.20 містить опис трьох рівнів моделі товару для автоматизованої тепловізійної системи моніторингу стану підземних тепломереж. Починаючи з концепції товару, що відображає його основну функціональну вигоду, і деталі реального виконання, до товару з додатковими перевагами, таблиця надає основні характеристики та функції. Кожен етап відповідає вимогам ДСТУ В 7371:2020, що підкреслює високі стандарти якості, а також передбачає гарантійне обслуговування після продажу.

Наступним кроком є визначення цінового діапазону для встановлення ціни на цей товар, що передбачає порівняння з цінами конкурентів та оцінку 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
	200 000 грн	250 000 грн	7 000 000 грн	150 000 – 250 000 грн

У цій таблиці здійснено аналіз і встановлено ціновий діапазон для споживачів, з урахуванням вартості товарів-замінників, цінової стратегії конкурентів та платоспроможності 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
	Великі енергетичні компанії, муніципальні підприємства, інжинірингові компанії, науково-дослідні інститути,	Постачання комплексних систем, технічна підтримка, інтеграція з існуючими мережами, консалтинг, тестування, навчання персоналу	Прямий канал збуту, через партнерів	Прямий продаж з технічною підтримкою, партнерські програми



	малий та середній бізнес			
--	--------------------------	--	--	--

Таблиця демонструє, що оптимальна збутова стратегія передбачає постачання комплексних систем через прямий канал або через партнерів. Основними клієнтами є великі енергетичні та муніципальні компанії, інжинірингові організації, а також науково-дослідні інститути і малий та середній бізнес, які потребують гнучкості та технічної підтримки. Для ефективного збуту необхідно забезпечити не лише продаж продукту, але й консалтинг, навчання, технічну підтримку та інтеграцію з існуючими мережами, використовуючи як прямий продаж, так і мультиканальні системи з партнерськими програмами.

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
	Управлінці енергетичних компаній, монтажні підприємства, комунальні служби, інвестори, що шукають ефективні рішення для	Інтернет, вебінари, виставки, LinkedIn, технічні видання, email-розсилки.	Надійність, інноваційність, швидкість, зниження витрат на обслуговування та ремонт, покращення ефективності тепломереж.	Продемонструвати ефективність та економічність автоматизованої системи для моніторингу та профілактики проблем на тепломережах.	"Забезпечте ефективність і надійність ваших тепломереж з автоматизованою системою моніторингу, що знижує витрати і запобігає аваріям."

моніторингу тепломереж.				
----------------------------	--	--	--	--

При створенні маркетингової програми для стартапу було вивчено ключові фактори споживчого попиту, визначено основні цільові групи та розроблено стратегії для ефективного позиціонування і комунікації. Планується застосування різних комунікаційних каналів, з особливим акцентом на технологічні переваги продукту для привернення уваги до цільової аудиторії.

Таблиця 4.24. Бізнес-модель

Елемент бізнес-моделі	Опис
Цінні пропозиції	Автоматизована система тепловізійного моніторингу, що забезпечує раннє виявлення пошкоджень, зниження втрат енергії та витрат на обслуговування підземних тепломереж.
Цільові сегменти	Комунальні підприємства, енергетичні компанії, муніципальні органи, підприємства, які експлуатують тепломережі, інженерні компанії та консультанти.
Канали взаємодії	Прямі продажі, партнерства з компаніями, що обслуговують інфраструктуру, онлайн-платформи, галузеві конференції, виставки та вебінари.
Джерела доходів	Продаж системи, підписка на програмне забезпечення для моніторингу, послуги технічного обслуговування, індивідуальна адаптація рішень, навчання персоналу клієнта.

Ключові ресурси	Експертна команда розробників, патенти на технології, інфраструктура для виробництва та тестування, програмне забезпечення, фінансові інвестиції.
Основні витрати	Розробка та тестування системи, виробництво обладнання, зарплата співробітників, маркетинг, сертифікація, обслуговування серверів для аналітики, логістика та підтримка клієнтів.

Ця бізнес-модель створена для комплексного впровадження автоматизованої тепловізійної системи, що сприяє вдосконаленню управління підземними тепломережами. Вона забезпечує стратегічний підхід до розвитку стартапу, оптимізує використання ресурсів, підвищує якість обслуговування клієнтів та дозволяє ефективно взаємодіяти з цільовою аудиторією. Модель орієнтована на створення довгострокової цінності для клієнтів і стійкого зростання бізнесу.

Для успішного впровадження стартап-проєкту, орієнтованого на створення автоматизованої тепловізійної системи для моніторингу стану підземних тепломереж, необхідно зібрати команду кваліфікованих фахівців. Команда має забезпечити реалізацію технічних, організаційних та аналітичних завдань, які є критично важливими для впровадження системи в експлуатацію. Після оцінки обсягу робіт та визначення ключових етапів проєкту було розподілено ролі та зони відповідальності між членами команди. Деталізована інформація представлена у таблиці 4.25.

Таблиця 4.25. Команда стартап проєкту

Учасник команди	Посада	Завдання, що необхідно виконати
Керівник проєкту	Менеджер проєкту	Організація роботи команди, стратегічне планування,

		контроль виконання завдань, прийняття ключових рішень.
Інженер-розробник	Технічний фахівець	Розробка тепловізійного обладнання, тестування, оптимізація технічних рішень.
Програміст	Фахівець із розробки ПЗ	Створення програмного забезпечення для аналізу даних, налаштування алгоритмів автоматизації.
Фахівець з маркетингу	Маркетолог	Проведення ринкових досліджень, розробка маркетингової стратегії, просування продукту.
Фінансовий фахівець	Фінансовий менеджер	Розробка бюджету, контроль витрат, аналіз фінансових ризиків і підготовка звітності.
Фахівець з продажу	Менеджер з продажу	Організація процесу продажу, пошук клієнтів, проведення переговорів, укладання угод.
Технічний консультант	Експерт з впровадження	Забезпечення технічної підтримки клієнтів, навчання персоналу, консультації щодо використання системи.
Юридичний фахівець	Юрист	Розробка договорів, патентна підтримка, забезпечення юридичної відповідності продукту.

Календарний графік є невід’ємною частиною управління проектом, що дає змогу ефективно планувати та відстежувати прогрес виконання основних етапів. У цьому розділі представлено докладний план реалізації стартапу, який передбачає поступове виконання завдань у встановлені строки.

Таблиця 4.26. Календарний графік реалізації стартапу

№	Етап	Тривалість	Термін виконання
1	Розробка бізнес моделі	2 місяці	25.09.2024–25.10.2024
2	Розробка MVP	2 місяці	28.10.2024–30.01.2025
3	Тестування та доопрацювання	3 місяці	25.01.2025–26.03.2025
4	Розробка маркетингової кампанії	2 місяці	27.03.2025–30.05.2025
5	Запуск на ринку	2 місяці	25.05.2025–29.06.2025

Графік реалізації проекту забезпечує структуровану організацію виконання завдань, що допомагає уникати затримок та підтримувати узгодженість між етапами.

Таблиця 4.27. Календарний план реалізації проекту

№ 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												800\$
2.	Аналіз вимог		X	X											1100\$
3.	Проектування системи		X	X	X										1150\$
4.	Розробка програмного забезпечення	X	X	X	X	X									1400\$
5.	Виготовлення апаратної частини				X	X	X								1600\$
6.	Тестування та оптимізація					X	X								900\$

7.	Впровадження системи						X	X						600\$
8.	Оцінка та аналіз результатів						X	X	X					400\$
9.	Знаходження інвестицій							X	X	X				1200\$
10.	Запуск реклами									X	X			1100\$
11.	Коригування системи								X	X	X	X		400\$
12.	Підготовка звіту та завершення проекту										X	X	X	600\$
Сума													11250\$	

Календарний план реалізації проекту "Автоматизована тепловізійна система моніторингу підземних тепломереж" окреслює основні етапи впровадження та передбачувані терміни їх виконання. Проект стартує з підготовчих заходів і поступово переходить через етапи збору вимог, проектування, розробки програмного і апаратного забезпечення до безпосереднього впровадження системи та навчання персоналу. Ефективне управління витратами підтверджує зниження вартості реалізації проекту.

Бізнес-модель для цього продукту передбачає наступні кроки: компанія, що розробляє тепловізійні системи для моніторингу підземних тепломереж, розпочинає з продажу спеціалізованого обладнання для виявлення витоків і контролю за трубопроводами. Компанія постачає необхідні сенсори, камери та інші компоненти, що встановлюються на тепломережах.

Далі компанія може запропонувати платні сервіси моніторингу, включаючи реальний аналіз даних, виявлення аномалій і автоматичне повідомлення про можливі витoki. Клієнти сплачуватимуть за доступ до платформи та за послугу моніторингу.

Окрім того, компанія може надавати консультаційні та технічні послуги, включаючи навчання персоналу, регулярне оновлення програмного забезпечення та інші супутні сервіси. В перспективі компанія може розробляти індивідуальні рішення, інтегруючи специфічні функціональні можливості або адаптуючи систему під конкретні потреби клієнтів.

#### **Висновки до розділу 4**

Під час аналізу та заповнення таблиць для стартапу "Автоматизована тепловізійна система моніторингу стану підземних тепломереж" було враховано низку важливих факторів, серед яких конкурентоспроможність, стратегічний розвиток, маркетингові комунікації та інші критичні елементи.

Аналіз виявив як позитивні, так і негативні аспекти проекту, допоміг визначити ключові фактори конкурентоспроможності та розробити стратегії для ефективного позиціонування і комунікаційної підтримки продукту. Одним із важливих етапів стало формулювання політики ціноутворення і стратегії збуту, що має забезпечити оптимальний вихід продукту на ринок.

Детальний SWOT-аналіз дозволив виявити як сильні, так і слабкі сторони проекту, а також можливості і загрози, що можуть виникнути через зміни зовнішнього середовища. Були розглянуті різні варіанти розвитку, з урахуванням як ринкових ризиків, так і можливостей.

Ідентифікація цільових груп, аналіз їх характеристик і вивчення ринку сприяли формуванню оптимальної маркетингової стратегії, що забезпечить успішне виходження на ринок. Комерціалізація продукту неможлива без належного врахування потреб і вимог цільових груп.

Стратегії позиціонування та конкурентної поведінки були обрані на основі глибокого аналізу ринку та конкурентного середовища. Політика ціноутворення і визначення цінових меж стали основою для формування ефективної бізнес-стратегії.

У рамках системи збуту ключовим є вивчення покупцької поведінки цільових клієнтів і вибір оптимальної моделі збуту, яка сприятиме правильному позиціонуванню продукту на ринку. Комплексний підхід до маркетингової програми дозволяє стартапу ефективно реалізовувати свої можливості і зберігати конкурентоспроможність у сфері інноваційних технологій.



## ВИСНОВКИ

У рамках магістерської дисертації за темою "Автоматизована тепловізійна система для моніторингу стану підземних тепломереж" було проведено глибокий аналіз та розробку інноваційної системи, яка використовує сучасні тепловізійні технології разом із передовими компонентами для забезпечення ефективного та точного моніторингу теплових мереж. Основна мета проекту полягала у створенні автоматизованого рішення, здатного виявляти дефекти та витoki у підземних трубопроводах на ранніх етапах, що сприяє значному зниженню теплових втрат, підвищенню ефективності роботи теплових мереж та зменшенню витрат на їх обслуговування.

Розробка оптичної системи, виконана за допомогою програмного забезпечення ZEMAX, дозволила точно розрахувати параметри та характеристики тепловізійного каналу, що забезпечило високу якість отриманих зображень. Основний акцент зроблено на мінімізацію габаритів і ваги системи, що забезпечує портативність і зручність використання в реальних умовах. Оптична система оптимізована для застосування в складних експлуатаційних середовищах, де точність і стабільність функціонування є критично важливими.

Особливу увагу приділено процесу вибору компонентів для системи. Зокрема, були обрані дрони як мобільна платформа для збору даних у важкодоступних місцях, високочутливі матричні приймачі для отримання якісного тепловізійного зображення, а також мультиплектори для ефективного управління передачею даних. Усі компоненти підбрано з урахуванням сучасних технічних стандартів, що забезпечило сумісність, надійність і довговічність системи. Завдяки цьому досягнуто стабільної роботи в різних умовах, включаючи міські та промислові середовища.

Маркетингова частина проекту включала проведення SWOT-аналізу, який допоміг визначити сильні та слабкі сторони системи, оцінити можливості

для її розвитку та загрози на ринку. Поглиблений аналіз конкурентного середовища дозволив розробити ефективну стратегію позиціонування, орієнтовану на інфраструктурні компанії, що займаються обслуговуванням теплових мереж. Додатково було проведено оцінку потенційних ринків та цільових груп споживачів, що сприяло формуванню чіткого плану впровадження системи у практичну діяльність. Визначення оптимального рівня ціноутворення забезпечило баланс між доступністю продукту та його економічною привабливістю.

Результати роботи демонструють високу ефективність розробленої системи, яка поєднує точність тепловізійної діагностики з оперативним аналізом і відображенням даних. Такий підхід значно підвищує якість моніторингу та дозволяє оперативно реагувати на виявлені проблеми. Розроблений продукт має великий потенціал для використання в управлінні міською та промисловою інфраструктурою. Завдяки впровадженню системи можна досягти суттєвого зменшення втрат енергоресурсів, підвищити безпеку експлуатації мереж та зменшити негативний вплив аварій на навколишнє середовище.

Проект продемонстрував високий рівень інноваційності та став основою для подальших досліджень і розробок у сфері автоматизованих систем моніторингу теплових мереж. Розроблена система не лише вирішує актуальні технічні та економічні проблеми, але й формує нові підходи до управління інфраструктурними об'єктами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неня О.В. Сучасні тепловізори для спеціального та повсякденного застосування / О.В. Неня // Сучасна спеціальна техніка. – 2016. – № 4. – с. 108-120.
2. Вознюк С. І. Сфери використання, переваги та види тепловізорів / С. І. Вознюк // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019.
3. Живкович А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьев // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований - 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысль, Польша. – *Przemysł : Nauka i studia*, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.
4. Бабич О.О. Визначення безконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл / О.О. Бабич, Н.М. Александрова // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1. – С. 69-71.
5. Озович А. Методи і засоби вимірювання розподілу температури / А., Озович, О. Панчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – Том 78. – с. 34-41.
6. 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.
7. 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.
8. Муравйов О. В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О. В. Муравйов, Ю. М. Нижник, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, К. М. Серий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Том 32 (71), №5. – С. 114-119.

9. Massaro A. CNN-LSTM Neural Network Applied for Thermal Infrared Underground Water Leakage / A. Massaro, A. Panarese, S. Selicato, A. Galiano // *2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*. – 2021. – Rome, Italy. – pp. 219-224.

10. A. B. Ionov. Metrological problems of pyrometry: an analysis and the prospects for solving them // *Measurement Techniques*. – Vol. 56. – No. 6. – 2013.

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

12. 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.

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

14. 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.

15. Parida R. K. A thermal imaging based wireless sensor network for automatic water leakage detection in distribution pipes / R. K. Parida, V. Thyagarajan, S. Menon // *2013 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies*. – 2013. – Bangalore, India. – pp. 1-6.

16. Analyzing efficiency of optical and THz infrared thermography in nondestructive testing of GFRPs by using the Tanimoto criterion / A. Chulkov et. al. *NDT & E International*. 2021. Vol. 117. P. 102–383.

17. Protasov A. Application of FEMLAB Software for Simulation of the Thermal Method for Nondestructive Testing. / A. Protasov // *American Society for*

Engineering Education. Annual conference and Exposition. Austin, Texas, USA. June 14-17 2009, pp. 182-191.

18. Momot A. Automated segmentation of ultrasound medical images using the Attention U-Net model / A. Momot, M. Zaboluiieva, R. Galagan // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2024. – №128. – pp. 56–60.

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

20. Брао І. Аналіз проблематики та перспективних напрямів розвитку безконтактної термометрії [Текст] / І. Брао // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – Вип. 75. – С. 40-44.

21. Skladchykov I.O. Application of YOLOX deep learning model for automated object detection on thermograms / I. O. Skladchykov, A. S. Momot, R. M. Galagan, Bohdan G.A., Trotsiuk K.M. // Information Extraction and Process. – 2022. – №50. – pp. 69–77.

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

23. Brown M. Application of Infrared Imaging in Gas Leak Detection / M. Brown // Environmental Monitoring and Assessment. – vol. 35 (4). – 2020. – pp. 721-732.

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. Pan N. Infrared Thermal Imaging for Intelligent Leakage Detection in Underground Integrated Pipe Corridors / Pan N., Jiang S., Du Y., Hu Z. // ASTM International. *J. Test. Eval.* – 2020. – 48(6): 4503–4515.

26. Муравьев А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьев // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
27. Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.
28. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.
29. 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.
30. Redmon J. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – pp. 779-788.
31. Муравьев А. В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А. В. Муравьев, О. К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.
32. 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.
33. Zaporozhets A. System for Monitoring the Technical State of Heating Networks Based on UAVs / Zaporozhets, A., Kovtun, S., Dekusha, O. // Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CSIT. – 2019. – vol 1080. Springer, Cham.
34. 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.

35. Miralles F. Towards Reliable Detection of Dielectric Hotspots in Thermal Images of the Underground Distribution Network / F. Miralles, L. Cauchon, M. Magnan, F. Gregoire, M. Makhtar Dione, A. Zinflou // In Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2022. – NY, USA. – 3566–3574.

36. Галаган Р.М., Андреев С.М., Петрик В.Ф., Баженов В.Г., Лисенко Ю.Ю. Виявлення дефектів бетонних конструкцій на основі аналізу зображень за допомогою згорткових нейронних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Том 34 (73), № 2. с. 138-144.

37. Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29.

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

39. Технології теплового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 90 с.

## **ДОДАТКИ**