

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту

допущено»

В.о.завідувача

кафедри

_____ **Анатолій ОРЛОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2021 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за спеціальністю 153 Мікро-та наносистемна
техніка

На тему: «Аналітична тепловізуальна система»

Виконав: студент 4 курсу, групи ДП-72 Гончаров Артем Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доц., к.т.н., Діденко Ю.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.ф.-м.н., с.н.с. Георгій СВІСЧЕНКОВ

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н., Юрій ДІДЕНКО _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших
авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2021

Завдання на дипломну роботу

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

Інститут/факультет

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра

Мікроелектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 153 – Мікро-та наносистемна техніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри
_____Анатолій ОРЛОВ
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__»_____2021 р.

ЗАВДАННЯ на дипломний проект (роботу) студенту

Гончарову Артему Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи:

«Аналітична тепловізуальна система»

керівник проекту (роботи)

доц., к.т.н., Діденко Ю.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__»_____20__р. №_____

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до роботи: інформаційні матеріали про тепловізори та їх системи. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст дипломної роботи:

- Провести огляд літературних джерел за темою дипломної роботи.
- Скласти алгоритм та блок-схему аналітичної тепловізуальної системи.
- Розробити електричну принципову схему аналітичної тепловізуальної системи.

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

Рисунки: 4.2, 4.4, 4.5.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)1*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Доц., д.т.н., доц. Татарчук Д.Д.	12.04.2021р.	19.04.2021р.

7. Дата видачі завдання 12.04.2021р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Підпис керівника
1	Пошук та ознайомлення з літературними джерелами.	12.04.2021р.-18.04.2021р.	
2	Розроблення блок-схеми та початок розробки алгоритму її роботи.	19.04.2021р.-25.04.2021р.	
3	Внесення корективів до блок-схеми та розробленого алгоритму.	26.04.2021р.-02.05.2021р.	
4	Розроблення електронно принципової схеми.	03.05.2021р.-09.05.2021р.	
5	Було скореговано електронно принципову схему, доопрацьована література, зроблені висновки.	10.05.2021р.-16.05.2021р.	
6	Формування чорнового варіанту дипломної роботи.	17.05.2021р.-21.05.2021р.	
	Кінцевий варіант дипломної роботи.	31.05.2021р.	

Студент

(підпис)

Гончаров А.В.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Діденко Ю.В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Аналітична тепловізуальна система».

Текстова частина дипломної роботи: 70 сторінок, 25 рисунків, 5 таблиць, 11 формул, 19 джерел.

Тепловізор - електронний наглядний прилад, який будує зображення різниці температур в спостережуваній області простору. Основою будь-якого тепловізора є болометрична матриця (сенсор), кожен елемент (піксель) якої з високою точністю вимірює температуру.

Перевага тепловізорів в тому, що їм не потрібні зовнішні джерела освітлення - сенсор тепловізора чутливий до власного випромінювання об'єктів. Внаслідок цього тепловізори однаково добре працюють вдень і вночі, в тому числі в абсолютній темряві. Як зазначалося вище, погані погодні умови (туман, дощ) не створюють нездоланих перешкод тепловізійного приладу, в той же час роблячи звичайні нічні прилади абсолютно марними.

Принцип роботи всіх тепловізорів описується наступним алгоритмом:

- Об'єкти тепловізора формує на сенсорі температурну карту (або карту різниці потужності випромінювання) всієї спостережуваної в поле зору області.
- Мікропроцесор і інші електронні компоненти конструкції зчитують дані з матриці, обробляють їх і формують на дисплеї приладу зображення, що є візуальною інтерпретацією цих даних, які баче спостерігач. На відміну від приладів нічного бачення на базі електронно-оптичних перетворювачів (назвемо їх аналоговими), тепловізори, як і цифрові прилади нічного бачення, дозволяють реалізувати велику кількість налаштувань і функцій. Наприклад, регулювання яскравості, контрасту зображення, зміна кольору зображення, введення в поле зору різної інформації (поточний час, індикація розряду батарей, піктограми активованих режимів тощо), додаткове цифрове збільшення, функція «картинка в картинці» (дозволяє в окремому невеликому «вікні» виводити в поле зору додаткове зображення об'єкта цілком або якийсь його частини, в тому числі збільшене), тимчасове відключення дисплея (для енергозбереження).

ABSTRACT

The theme of the work is the creation of an analytical thermal imaging system.

Text part of the thesis: 70 pages, 25 figures, 5 tables, 11 formulas, 19 sources.

Thermal imager - an electronic monitoring device that builds images of the temperature difference in the observed area of space. The basis of any thermal imager is a bolometric matrix (sensor), each element (pixel) of which measures temperature with high accuracy.

The advantage of thermal imagers is that they do not need external light sources - the sensor of the thermal imager is sensitive to its own radiation of objects. As a result, thermal imagers work equally well day and night, including in complete darkness. As mentioned above, bad weather conditions (fog, rain) do not create insurmountable obstacles for the thermal imaging device, at the same time making ordinary night devices completely useless.

The principle of operation of all thermal imagers is described by the following algorithm:

- The lens of the thermal imager forms on the sensor a temperature map (or a map of a difference of power of radiation) of all area observed in a field of view.
- The microprocessor and other electronic components of the structure read the data from the matrix, process them and form on the display of the device an image that is a visual interpretation of this data, which is seen by the observer.

Unlike night vision devices based on electron-optical transducers (let's call them analog), thermal imagers, as well as digital night vision devices, allow you to implement a large number of settings and functions. For example, adjusting the brightness, contrast of the image, changing the color of the image, entering in the field of view of various information (current time, battery discharge indicator, activated mode icons, etc.), additional digital zoom, picture-in-picture function (allows in a separate small "window" display an additional image of the object in whole or in part (including enlarged)).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,	8
УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1.ТЕПЛОВІЗОРИ, ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БУДОВА, ПЕРЕВАГИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ.....	10
1.1 Принцип дії, переваги, блок-схема тепловізійного приладу	11
1.2 Матеріали, типи і характеристики приймачів ГЧ випромінювання.....	14
1.3 Принцип роботи різних типів приймачів	16
2. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ У ПРОМИСЛОВOSTІ ТА МЕДИЦИНІ	22
2.1 Тепловізійний контроль електрообладнання на атомній електростанції. .	24
2.1.1 Призначення і опис системи	25
2.2 Особливості системи та застосування її на території АЕС	27
2.2.1 Пост контроль та його функції	29
2.3 Основні характеристики тепловізійного модуля	32
2.3.1 Основні технічні характеристики відеокамери, розташованої на опорно пусковій установці та технічні характеристики поворотної платформи	33
2.4 Центральний сервер та його функції	35
2.5 Застосування тепловізора в медичній практиці.....	36
3. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄКТИВА МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕПЛОВІЗОРА	42
3.1 Оптична схема приладу та її характеристики	42
3.2 Умови експлуатації тепловізора.....	43
3.3 Аналіз отриманих графіків.....	48
4. ПРОПОЗИЦІЯ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ АНАЛІТИЧНОЇ ТЕПЛОВІЗУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	51
4.1 Температурний режим пожежі в приміщенні.	52
4.2 Критичний час розвитку пожежі в огорожі.....	53
4.2.1 Зонна модель розрахунку температури	54
4.3 Блок-схема системи.	59
4.4 Робота алгоритму блок-схеми.	59
4.5 Електрична принципова схема АТВС.....	62
4.6 Печатна плата АТВС	63
4.7 Складальне креслення АТВС.....	64

4.8 Таблиця радіоелементів плати та опис її роботи.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

1. FPA (Focal Plane Array) – Фокально-площинні матриці фотоелементів.
2. NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) – еквівалентна шумова температура. Є мірою чутливості детектора теплового випромінювання в інфрачервоній, терагерцовій або мікрохвильовій частинах електромагнітного спектра.
3. ІЧ випромінювання – інфрачервоне випромінювання.
4. ЕРС – електрорушійна сила.
5. АЕС – атомна електростанція.
6. ВРП (відкриті розподільні пристрої) – це пристрої, у яких силові провідники розташовуються на відкритому повітрі без захисту від впливу навколишнього середовища. Зазвичай у вигляді ВРП виконуються розподільні пристрої на напругу від 27,5 кВ.
7. ОПУ – опорно пускова установка.
8. АТД – апературна діафрагма.
9. RMS Radius - середноквадратичний радіус плями розсіювання.
10. АТВС – Аналітично тепловізуальна система.

ВСТУП

Відомо, що людське око може реєструвати електромагнітне випромінювання лише у вузькому діапазоні довжин хвиль, що відносяться до видимого світла. Спектр же випромінюваних різними об'єктами фотонів набагато ширше. Багато корисних і цікавих деталей можна побачити, якщо «подивитися» на живі і неживі об'єкти в інфрачервоному світлі. Такі інфрачервоні зображення можна отримати за допомогою спеціальних приладів - тепловізорів, які допомагають не тільки наочно уявити процеси зміни температури різних тіл і виміряти її з високою точністю, але навіть діагностувати захворювання на ранніх етапах їх виникнення.

У 1920 р з'явилися фотонні датчики випромінювання (фотоопір і фотодіоди) на основі напівпровідникових матеріалів, в яких падаючі кванти випромінювання безпосередньо перетворювалися в електричний сигнал. Такі датчики мали вже більш високу чутливість і швидкодію. А в 1944 р. були створені фотоприймачі на основі сульфідів свинцю, які були чутливі в спектральному діапазоні 1,5-3 мкм.

Сучасні тепловізори можуть бути не тільки індикаторами, а мають більш широкі можливості – візуалізувати теплове поле, що дає змогу аналізувати стан середовища. Тому метою даної роботи є розробка аналітичної тепловізуальної системи для моніторингу пожежної обстановки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати сучасний стан розвитку тепловізійних систем.
- Скласти алгоритм та блок-схему аналітичної тепловізуальної системи.
- Розробити електричну принципову схему системи.

Об'єктом вивчення є системи моніторингу пожежної обстановки.

Предметом вивчення є тепловізор із системою аналізу даних.

1.ТЕПЛОВІЗОРИ, ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БУДОВА, ПЕРЕВАГИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

Ще з шкільного курсу фізики всі ми знаємо, що електромагнітне випромінювання не обмежується видимим спектром, існують ще рентгенівська, ультрафіолетова та інфрачервона області і радіо-діапазон. Також добре відомо, що кожен об'єкт з температурою, відмінною від абсолютного нуля, за рахунок внутрішньої енергії випускає так зване теплове випромінювання з безперервним розподілом по спектру довжин хвиль. Прикладом природного теплового випромінювання може служити світіння розпеченого шматка заліза. При нормальній температурі цей шматок теж випромінює, однак спектр випромінювання не зачіпає видимої області.

У фізиці для розрахунку теплового випромінювання прийнята модель абсолютно чорного тіла, теплове випромінювання якого описується законом Стефана Больцмана, який спочатку був виведений експериментально. Його сучасний вигляд заснований на уявленні, що теплове випромінювання генерується в процесі простого гармонійного коливання атомних осциляторів.

Резюмуючи вищесказане, можна сказати, що:

- випромінюють, тобто світяться всі тіла;

це означає, що за допомогою тепловізора можна спостерігати об'єкти в умовах повної темряви, так як тепловізор сприймає власне електромагнітне випромінювання об'єктів;

- чим вище температура тіла, тим яскравіше воно світиться;

- звідси впливає простий алгоритм інтерпретації теплового випромінювання на екрані тепловізора: чим вище температура спостережуваного об'єкта, тим яскравіше даний об'єкт;

- при температурах від -30 до $+100$ ° С спектр випромінювання тіл потрапляє на діапазон 6-16 мкм, тому цей діапазон оптимальний для спостереження таких об'єктів, як люди, тварини і дерева, будівлі, автомобілі і

т.д[1].

1.1 Принцип дії, переваги, блок-схема тепловізійного приладу

Принцип дії тепловізійних приладів заснований на перетворенні теплового випромінювання об'єктів у видиме зображення, що виводиться на монітор. Теплове випромінювання, що реєструється тепловізором, лежить в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Будь-яке тіло з температурою вище 0 °К випромінює електромагнітні хвилі ІЧ - діапазону, тому для тепловізора будь-який досліджуваний об'єкт буде випромінювачем, що відрізняє тепловізор від приладів видимого діапазону, які сприймають об'єкти, що випромінюють у видимому діапазоні або відображають зовнішнє видиме випромінювання [2].

Однією з головних умов формування інфрачервоного зображення є наявність температурного контрасту або контрасту коефіцієнта випромінювання між об'єктом і фоном, а в межах контуру об'єкта – між його окремими елементами. Сучасні тепловізійні прилади здатні сприймати

температурні контрасти на рівні 0,01 °К. Більшість тепловізорів працюють в діапазонах 3-5 мкм і 8-14 мкм, які відповідають вікнам прозорості середовища в інфрачервоній області (рис. 1.1). Особливості різних поколінь тепловізорних приладів наведені в таблиці 1.

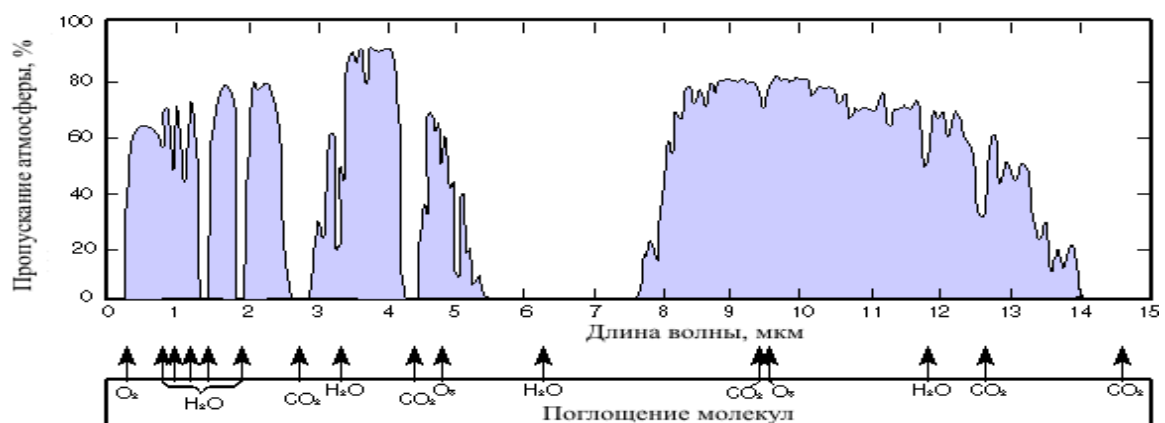


Рисунок. 1.1 – Пропускання середовища в ІЧ діапазоні [2].

Таблиця 1 - Покоління тепловізійних приладів [2].

Покоління тепловізійних приладів	Система розгортки зображення	Приймач випромінювання
Нульове	Двовірна оптико-механічна	Одиночний приймач випромінювання
Перше	Одновимірна оптико-механічна	Одновимірна лінійка фотоприймачів
Друге	Одновимірна оптико-механічна	матриці фотоприймачів у вигляді 2-6 лінійок
Третє	Без використання оптико-механічних систем розгортки зображення	Фокально - площинні матриці фотоелементів (FPA - Focal Plane Array)

Основні переваги тепловізорів третього покоління :

- відсутність оптико - механічної розгортки зображення і відповідно мала маса ;
- габарити і енергоспоживання ;
- тиха робота ;
- високе відношення сигнал / шум і якість зображення ;
- широкий динамічний діапазон ;
- можливість зв'язку з сучасними комп'ютерами ;
- цифрова обробка зображення в реальному масштабі часу.

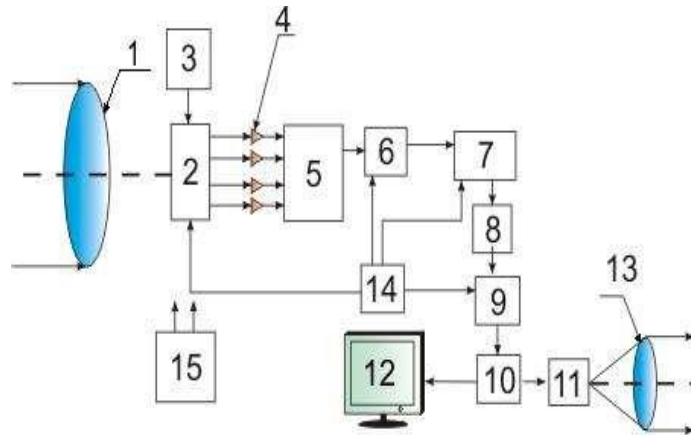


Рис. 1.2 – Блок-схема тепловізійного приладу третього покоління [2]

1 - ІЧ-об'єктив, 2 - матриця ІЧ-фотоприймачів, 3 - блок охолодження або термо-стабілізації матриці, 4 - передпідсилювачі, 5 - мультиплексор, 6 - аналоговий коректор неоднородності сигналів, 7 - аналого-цифровий перетворювач,

8 - цифровий коректор неоднорідності сигналів, 9 - коректор непрацюючих елементарних фотоприймачів матриці, 10 - блок формування зображення з мікропроцесорною обробкою відеосигналу, 11 - цифровий вихід для підключення до персонального комп'ютера, 12 - ТВ-монітор, 13 - окулярна система, 14 - тактовий генератор, 15 - первинне джерело живлення (акумуляторна батарея).

Блок - схема тепловізійного приладу третього покоління представлена на рис. 1.2. Наявність елементів 3 і 13 необов'язково і залежить від типу приладу. Неоднорідності сигналів елементарних фотоприймачів матриці попередньо коригуються в аналоговій формі, перетворюються в цифрову і коригуються з використанням даних, отриманих в процесі калібрування. Далі сигнали виправляються (можливе виключення непрацюючих елементів матриці з їх заповнення) і направляють в блок формування зображення 10. На його виході інформація видається або в якості відеосигналу, що направляється на ТВ

- монітор , або в цифровій формі для передачі в персональний комп'ютер [2].

1.2 Матеріали, типи і характеристики приймачів ІЧ випромінювання

Фокально-площинні матриці ІЧ фотоприймачів можуть бути виконані на основі різних матеріалів , що визначають такі характеристики тепловізорів, як робочий спектральний діапазон , температурна чутливість , необхідність охолодження матриці і швидкодія системи.

Можна виділити два основних типи приймачів ІЧ випромінювання : приймачі фотонного типу, і теплові приймачі . До теплових приймачів відносяться мікроболометричні і піроелектричні приймачі. У таблиці 1.1 представлені матеріали, на основі яких створюються ІЧ - приймачі різних типів.

Таблиця 1.1 - Матеріали матриць ІЧ - приймачів різних типів [2]

	Типи приймачів інфрачервоного випромінювання	Матеріал матриці фотоприймачів, робоча область спектра
	Фотонні	1.Халькогенід свинцю (PbS, PbSe), 1.5-6 мкм. 2.Соединення кадмій-ртуть-теллур- HgCdTe_2 (KPT), 1-20 мкм 3. Антимоніди індію (InSb), 3-5 мкм 4. Силіцид платини, структури на бар'єрі Шотткі (PtSi) , 1-5 мкм 5. домішкових кремній (Si: x) і германій (Ge: x) . 6.Многослойные структури з квантовими ямами на базі GaAs / AlGaAs $(\text{QWIP}$ детектори), 8-12 мкм.

Продовження таблиці 1.1

1	Теплові Мікроболометричні	Модифікації оксидів ванадію $VxOx$, 8-14 мкм Полікристалічний і аморфний кремній, 8-14 мкм.	
2	Теплові Піроелектричні	Цирконат свинцю Ніобат і титанат барію-стронцію трігліцинсульфата сополімери вініленфторіда.	8–12 мкм

За типом побудови матриць фотонні і теплові мікроболометричні приймачі можуть створюватися на базі комплементарних металооксидних напівпровідників - КМОП матриці. Фотонні приймачі також можуть створюватися на базі приладів з зарядовим зв'язком – ПЗЗ матриці.

Зовнішній вигляд типової ІЧ - матриці показані на рис. 1.3.

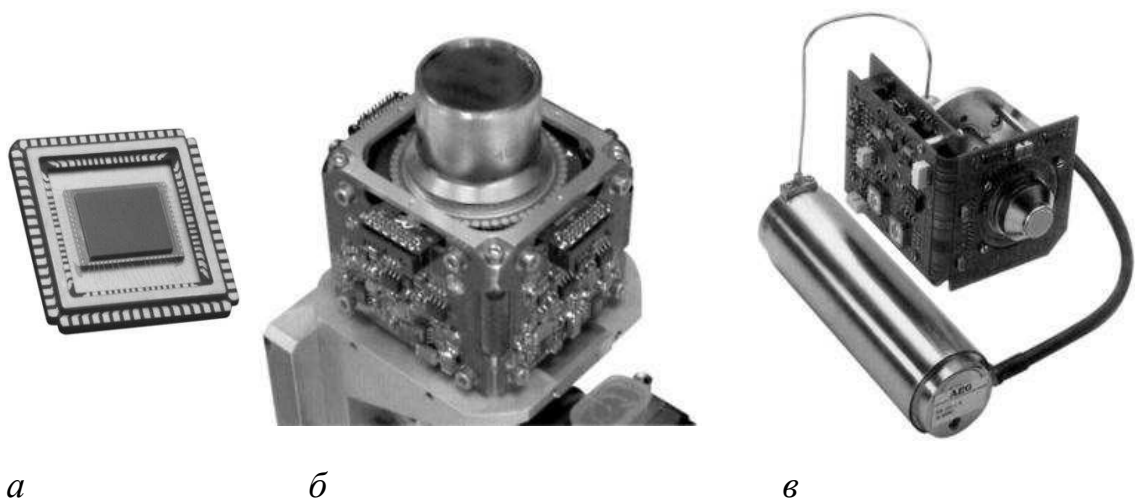


Рис. 1.3 *а* - зовнішній вигляд ІЧ матриці, *б* - ІЧ матриця з захисним вікном з германію в обрамленні електронних плат, *в* - приймальний модуль, що містить ІЧ матрицю, охолоджувач і електронний блок, що включає буферний підсилювач і аналого-цифровий перетворювач [2]

1.3 Принцип роботи різних типів приймачів

Фотонні приймачі.

Принцип роботи фотонних приймачів заснований на явищі фотопровідності і фотоелектричному ефекті (photovoltaic detector). Явище фотопровідності полягає в збільшенні провідності кристала при поглинанні електронами енергії падаючого випромінювання. Фотон випромінювання з енергією $E_f = h\nu$ може бути поглинений електроном кристала з

енергією E_e , якщо існує дозволений енергетичний рівень $E = E_e + E_f$. Зміну електричної провідності виявляють, пропускаючи через матеріал ток від зовнішнього джерела.

Фотоелектричний ефект полягає у виникненні струму у зовнішньому ланцюзі при поглинанні фотонів падаючого випромінювання напівпровідниковою структурою з р-п переходом.

Поглинання фотона, наприклад, в п області призведе до утворення електронно - діркової пари, дірки з п області під дією електричного поля р-п переходу будуть захоплюватися в р області, створюючи фотострум. Прикладаючи зворотне навантаження до р-п переходу, отримаємо режим фотодіода. Фотоелектричний ефект використовується в приймачах на основі арсеніду індію InAs, антимоніда індію InSb, і з'єднання теллурид кадмія – телурид ртуті HgCdTe.

У 90-ті роки XX століття з'явилися тепловізійні прилади на QWIP-матрицях з високою технологічністю, відтворюваністю, однорідністю параметрів по елементам (QWIP-Quantum Well Infrared Photodetectors).

QWIP детектори складаються з чергуючих шарів широкозонного і вузькозонного напівпровідникових матеріалів. Такі чергуючі шари отримують один за іншим, використовуючи надвисоку вакуумну технологію, таку як

молекулярно - променева епітаксії. Чергуються шари з широкою і вузькою забороненими зонами, формуючи квантові ями, утворюючи зв'язані стани електронів або дірок в зоні провідності. Зони провідності QWIP структур утворені бар'єрами з широкозонного $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ і ямами з вузькозонних арсеніду галію GaAs (рис. 1.4 а). Енергія зв'язку електрона в ямі може регулюватися зміною ширини ями, висота бар'єру регулюється складом x

з'єднання $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. При подачі напруги зміщення, збуджені фотонами електрони з GaAs ям передаються і детектуються як фотострум [2].

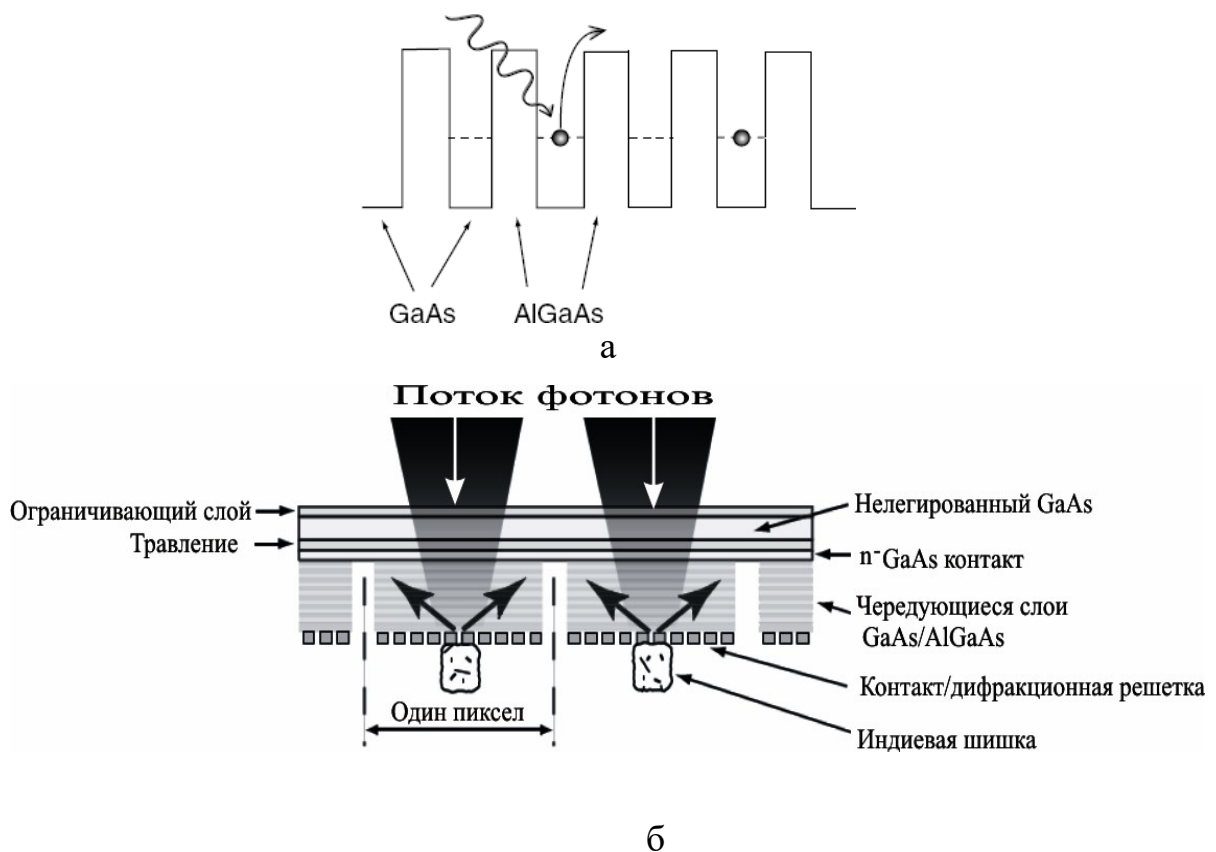


Рис. 1.4 – Структура з квантовими ямами, утворена вузькозонним GaAs і широко-зонним $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ - а, QWIP структура – б [2]

На рисунку 1.4 б зображена структура QWIP детектора, в якій чергуються шари GaAs і AlGaAs розташовуються горизонтально.

Для фотозбудження електронів необхідно, щоб електричний вектор розташовувався перпендикулярно квантовій ямі (рис. 1.4 а). Якщо дивитися

структуру QWIP детектора (рис. 1.4 б), то можна побачити, що падаючий потік фотонів спрямований поперек, а електричний вектор уздовж квантових ям, тому для ініціалізації процесу поглинання фотонів використовують металеву двомірну дифракційну решітку, яка розсіює потік фотонів під кутом 45° . Отримуючи горизонтальну компонентну, потік фотонів, відбитий від дифракційної решітки генерує носії заряду. При подачі негативної напруги, зсуву на n- GaAs контакт потік електронів спрямовується до індію, який контактує з системою зчитування сигналу. Таким чином, початковий потік фотонів перетворюється в електричний сигнал. При формуванні QWIP структури нелегований шар GaAs піддається поліровці з тильного боку і використовується для зворотнього відображення по - струму не поглинувших фотонів, що виходять з структури [2].

QWIP- детектори мають порівняно низький квантовий вихід (біля 10%), тому вимагають більшого часу накопичення сигналу ніж пристрої на

InSb і HgCdTe (квантовий вихід близько 90%). Однак, вид спектральної характеристики QWIP детекторів може гнучко налаштовуватися зміною ширини і висоти квантових ям, утворених шарами GaAs і AlGaAs. Для забезпечення високої температурної чутливості робочий спектральний діапазон ІЧ - детектора налаштовують так, щоб він знаходився в області максимумів випромінювальної здатності спостережених об'єктів.

Серед характеристик ІЧ приймачів основними є:

- температурна чутливість NETD (Noise E quivalent Temperature Difference - різниця температур еквівалентна шуму);
- кількість пікселів, що становлять матрицю;
- швидкість отримання зображення;
- необхідність охолодження матриці.

У кращих QWIP приладів NETD нижче 10 мк, типових -20 мк, середніх - 35 мк. QWIP детектори випускаються з форматами матриць 256 x 256,

320 x 240, 320 x 256, 640 x 512.

Для приладів на основі КРТ приймачів чутливість NETD: для кращих моделей - 10 мк, типових - 15 мк, середніх - 20 мк. Для роботи в довгохвильовому ІЧ діапазоні потрібне охолодження до 80 К, для роботи в середньохвильовому ІЧ діапазоні - охолодження до 120 К.

Частота оновлення інформації на матрицях з HgCdTe або InSb зазвичай лежить в межах від 100 до 400 Гц, для приладів на основі діодів Шотткі (PtSi / Si) ця частота знаходиться в діапазоні 25 - 100 Гц. Для роботи приладів на фотонних приймачах потрібне глибоке кріогенне охолодження. Всі об'єкти в інфрачервоній області спектра є «самоосвітлювальними», якщо їх температура вища за абсолютний нуль, тому самі приймачі ІЧ випромінювання можуть «світитися» в діапазоні їх чутливості (3-5 і 8-14 мкм). При цьому дуже важко виявити слабе випромінювання, яке надходить ззовні. Для підвищення знаходжувальної здатності потрібно погасити власне випромінювання чутливого елемента і прилеглих до нього діафрагм і інших елементів приладу. Це досягається охолодженням приймач до температур, при яких шумом

власного випромінювання (темновим струмом) можна знехтувати. Крім цього, охолодження приймача запобігає надмірному нагріву чутливих елементів з малою теплоємністю і забезпечує стабільність функціональних властивостей напівпровідникових елементів. Для глибокого (криогенового) охолодження матриці ($T = 75 - 80 \text{ K}$) використовується рідкий азот або газова холодильна машина, що працює по замкнутому циклу Спліт - Стірлінга. Для не глибокого охолодження ($T = 150 - 250 \text{ K}$) або термостабілізації роботи неохолоджуваної матриці використовується система термоелектричного охолодження на елементах Пельтьє [2].

Мікроболометричних приймачі.

Дія мікроболометричних детекторів засноване на зміні опору матеріалу при зміні його температури. В якості матеріалів можуть використовуватися як метали, так і напівпровідники (термістори). Чутливість різних мікроболометрів можна порівнювати за показником коефіцієнта:

$$\alpha = \frac{1}{Rd} * \frac{dR}{dT} [2] \quad (1)$$

де:

Rd – опір мікроболометричного елемента;

dR/dT – зміна опору на одиницю зміни температури.

Температурна чутливість приладів на основі мікроболометрів NETD має значення від 400 мк до 20 мк. Формат матриці 320 x 240, 640 x 480 пікселів з кроком 28 мкм. Мікроболометричні приймачі мають теплову інерційність, так як вимір потоку ІЧ випромінювання виконується після накопичення теплового сигналу, і для послідовної реєстрації декількох кадрів необхідна модуляція зовнішнього потоку випромінювання. Для мікроболометричних приймачів частота оновлення інформації на екрані не перевищує 50 Гц.

Піроелектричні приймачі.

Чутливим елементом піроелектричних приймачів є кристалічні пластини на поверхні яких під дією ІЧ - випромінювання утворюються заряди. Зміна температури dT кристала в результаті поглинання випромінювання за час dt супроводжується зміною поляризації зарядів dq , тому піроелектричний приймач дає сигнал пропорційний dq/dT , і не може використовуватися для реєстрації постійно не модульованого потоку випромінювання. Для цілей модуляції вхідного потоку випромінювання використовують механічні модулятори (шторки). Піроелектричні приймачі не вимагають охолодження. Температурна чутливість NETD для кращих зразків 100 - 150 мк.

Використовується формати матриць 320 x 240, 640 x 512 пікселів.

Сучасні тепловізійні методи поряд з використанням вдосконалених детекторів і електроніки відрізняється широкими можливостями програмної обробки зображень [2].

Висновки до розділу 1.

1. Розвиток тепловізійної техніки, як і електроніки в цілому, не стоїть на місці. Постійно відбувається вдосконалення тепловізійних детекторів, що призводить до поліпшення їх технічних характеристик на тлі здешевшення. Дорогі германієві об'єктиви поступово замінюються недорогими полімерними.

2. Це призводить до розширення сфер застосування тепловізорів: якщо в минулому столітті вони були доступні тільки науковим лабораторіям і військовим, то тепер практично будь-який бажаючий може купити прилад для аналізу теплових втрат в будівлях, охоронну тепловізійну камеру або прилад спостереження.

3. В найближче десятиліття тепловізійними приладами спостереження будуть масово оснащуватися вантажні автомобілі і автобуси, як це сталося з пристроями супутникової навігації. А наявність тепловізійного детектора стане звичайною опцією для планшета або мобільного телефону [1].

2. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ У ПРОМИСЛОВОСТІ ТА МЕДИЦИНІ

Сьогодні, тепловізори та тепловізійні системи доступні не тільки для військового, а й для комерційного застосування, що розширює можливості стандартних систем відеоспостереження і піднімає їх ефективність до режиму 24/7, 365 днів у році. Тепер ні дощ, ні сніг ні яскраве сонце або повна темрява не є обмежувачами для побудови сучасної та максимально ефективної системи відеоспостереження, до складу яких входять тепловізори.

Об'єднання CCTV і тепловізійних технологій дозволяє створити бар'єр безпеки, який бачить все і в будь-який час доби. Фізичні перешкоди (огорожі, стіни, контрольно-слідкові смуги і т.д.) доповнені такою системою відеоспостереження, дозволять швидко і оперативно попереджати порушення і не допустити злочинця до охоронного об'єкта або в стерильну зону.

З огляду на унікальні властивості тепловізійних камер, вони знаходять застосування в системах комплексної безпеки:

I. Безпека кордонів.

Тепловізор здатний виявити людину, транспортний засіб або невеликий об'єкт на великій відстані або в умовах невидимих для ока або CCTV камери.

II. Безпека інфраструктурних об'єктів.

Тепловізійні камери забезпечать моніторинг периметрів і захист промислових активів, завдяки своїй потужності і високій чутливості камер.

III. Виявлення пожежі.

Тепловізори, завдяки точним алгоритмам ідентифікації, здатні виявити гарячі точки, полум'я і навіть тоді, коли немає видимого диму і попередити оператора.

IV. Безпека об'єктів нафтогазової галузі.

Тепловізори можуть ідентифікувати, розпізнати і визначити тип загрози задовго до того, як порушники можуть перетнути периметр, проникнути в стерильну зону або пошкодити об'єкт.

V.Безпека на залізничному транспорті.

Для контролю залізничних переїздів і магістральних ділянок доріг.

VI.Безпека приватної власності.

Тепловізійні камери забезпечують ефективне днівне і нічне спостереження,

попереджають про вторгнення і сповіщають службу охорони. [3].

Всі тіла, температура яких перевищує температуру абсолютного нуля, випромінюють електромагнітне теплове випромінювання. Спектральна щільність потужності випромінювання (функція Планка) має максимальну довжину хвилі, довжина хвилі якої залежить від температури. Максимальне положення в спектрі випромінювання зміщується з підвищенням температури до менших довжин хвиль. Тіла, нагріті до температури оточуючого світу (-50 .. і 50 градусів за Цельсієм) мають максимальне випромінювання в середньому інфрачервоному діапазоні (довжина хвилі 7,14 мкм).

Півстоліття тому інфрачервоні теплові системи в основному використовувалися у військовій техніці. Але до цього дня збройні сили використовують теплову стрілецьку зброю та артилерійські приціли, теплові приціли для направляючих керованих снарядів. Функції цих систем включають огляд, розвідку та збір інформації, пошук і захоплення цілей, управління вогнем і повітряні польоти.

Ця технологія в даний час широко використовується в інших сферах життя.

Наприклад, для контролю витоків теплової енергії в житлових будинках. За допомогою тепловізійної камери можна виявити ділянки втрат теплової енергії, тим самим визначаючи місця, які потребують ремонту.

Також можна використовувати ці прилади для теплової перевірки місцевості для охорони навколишнього середовища, наприклад, для виявлення лісових пожеж, пошуку під час рятувальних робіт, а також обладнання для моніторингу диму для пожежників.

Тепловізійні прилади використовуються для контролю якості продукції в промисловості, контролю температури різних процесів, профілактичного огляду електрообладнання. [4].

2.1 Тепловізійний контроль електрообладнання на атомній електростанції.

Тепловізійний контроль електрообладнання - це одна з перших сфер застосування теплового методу неруйнівного контролю для потреб промислових підприємств.

Метою роботи є підвищення надійності експлуатації електрообладнання на відкритих розподільних пристроях, а також підвищення безпеки та ефективності виробництва.

Для електричних підстанцій потрібно безперервний діагностичний контроль електричних вузлів і приєднань, оскільки відмова і подальший простій обладнання може бути дорогим як для організації, так і для кінцевих користувачів в плані втрати продукції і виручки, приводячи до зниження доходів підприємств енергопостачання в результаті ненадійного обслуговування. Як перегрів, так і аномально низькі робочі температури, ведуть до погіршення стану електричного обладнання. Тепловізори стаціонарного призначення здатні надати можливість в реальному часі стежити за тепловізійною обстановкою на підстанції і розподільних пристроях.

Використання тепловізійного обладнання є необхідною вимогою для проведення якісної безпечної діагностики електроустановок на базі відкритих розподільних пристроїв (надалі – ВРП) і рекомендовано для обстеження стану зовнішніх елементів трансформаторів згідно прав.3 «тепловізійного контролю електрообладнання і повітряних ліній електропередачі» ". Так, в 2015 році на одній з АЕС було виявлено вихід з ладу роз'єднувача на ВРП-330 кВ внаслідок збільшення перехідного опору головних

контактів, відбувся нагрів контактних з'єднань струмами навантаження, що призвело до необхідності виведення з роботи обладнання схем відновлювальних заходів на АЕС для усунення дефекту. Періодичний тепловізійний контроль обладнання переносними тепловізорами не дозволяє своєчасно виявляти дефекти подібного роду.

При проведеній в потрібний момент комплексної заміни електротехнічного обладнання на ВРП-110 кВ та 750 кВ, для своєчасного виявлення дефектів, подібних до вищезгаданого, а також для підвищення ефективності застосування методу тепловізійного контролю рекомендується використання обладнання в стаціонарному виконанні, тобто використання системи візуально - тепловізійного контролю з метою безперервного стаціонарного моніторингу за обладнанням ВРП 330/110 кВ атомної станції, що дозволяє виявляти локальні нагріви на ранній стадії. [10].

2.1.1 Призначення і опис системи

Система призначена для автоматичного аналізу стану відкритого обладнання в складі елементів ВРП (ізолятори, роз'єднувачі, вимикачі, трансформатори струму та напруги), а так само раннього попередження про майбутні збої і оповіщення про виникнення потенційних джерел критичного перегріву (загоряння). Принцип роботи заснований на отриманні та аналізі теплової сигнатури в режимі реального часу, збору даних про окремих елементах обладнання шляхом сканування області його розміщення, відстеження динаміки змін за звітний період.

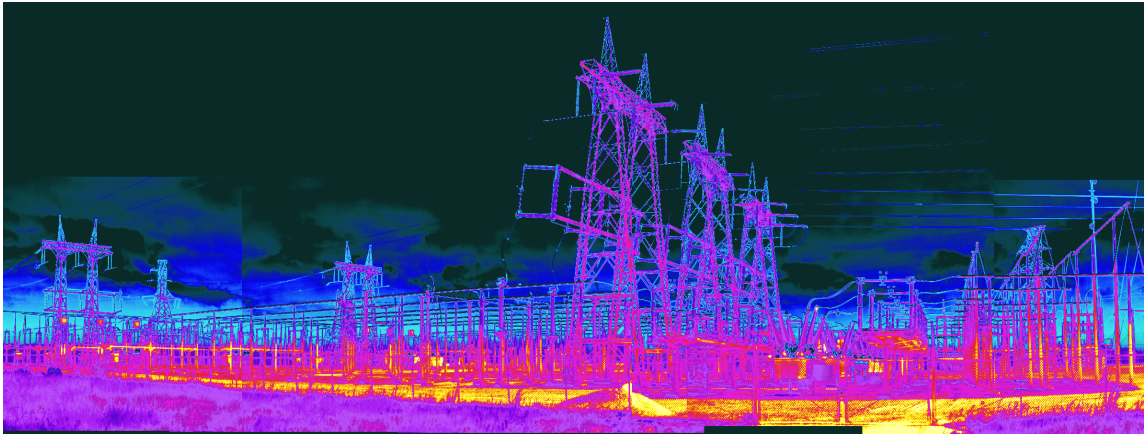


Рис. 2.1 – Приклад: зображення об'єкта контролю в ІЧ спектрі [10]

Можливо визначити аномалії і аварійні ситуації за такими ознаками:

- Найбільшим досягненням гранично допустимих значень максимальної температури;
- Градієнт і швидкість зміни температури;
- Зростанням температури в залежності від часу і контролю тенденції її підвищення;
- Різниця температури об'єкта (хв / макс).

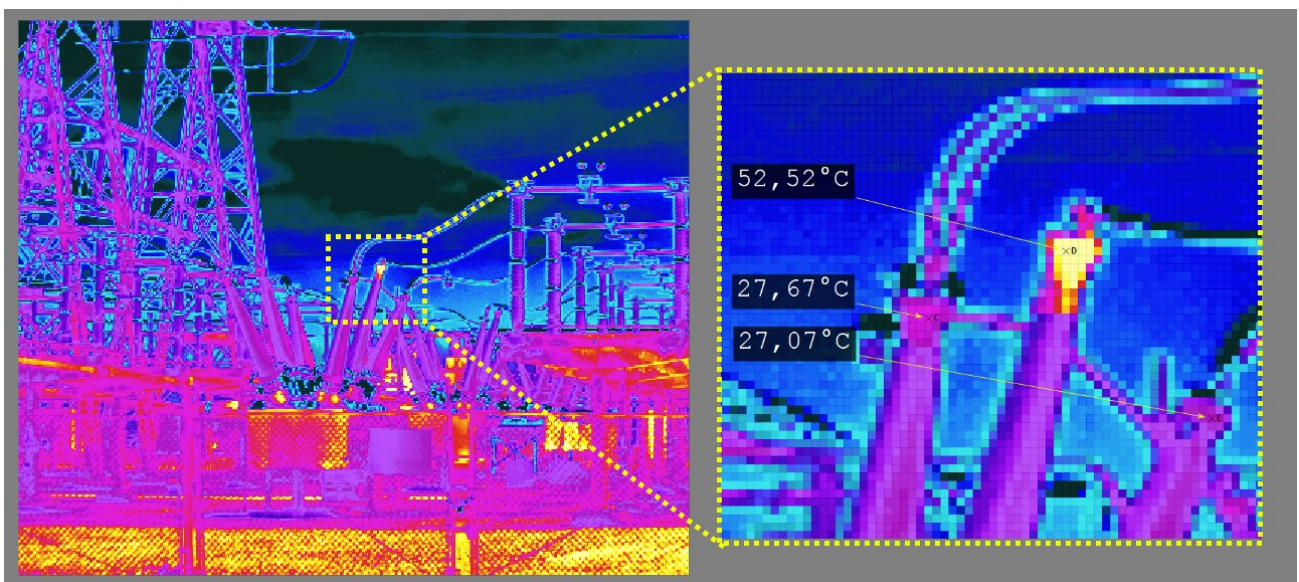


Рис. 2.2 – Приклад: Виявлення джерела підвищеної температури (дефекту) [10]

Система призначена для виконання функцій, пов'язаних з

підвищенням безпеки експлуатації високовольтного обладнання в процесі його експлуатації.

Можливість контролю в реальному часі 24 години на добу 7 днів на тиждень, запис і аналіз даних, дозволяє простежити тенденції, що допомагає уникнути аварійних і небезпечних для виробництва ситуацій.

До них можна віднести:

- локальний перегрів, внаслідок механічно ізносу обладнання;
- загоряння в зоні видимості тепловізора (використання в якості доповнення системи пожежної сигналізації з раннім виявленням);
- порушення правил експлуатації і техніки безпеки;

проникнення сторонніх осіб і персоналу у час, заборонене для знаходження в зоні доступу до спостережуваного устаткування.

Для контролю великих обсягів устаткування на відкритих майданчиках використаний принцип безперервної зйомки об'єктів, занесених в єдину базу даних, вимірювання їх температури, порівняння з попередніми показаннями і передачі на сервер зберігання і обробки інформації.

У разі внесення зміни в конструкцію обладнання в складі підконтрольних площ, система може бути перенастроєна. Всі дані передаються по стандартним каналам передачі даних. Тепловізійний комплекс може бути інтегрований в будь-яку систему для передачі керуючих і інформаційних сигналів, а також передавати сигнали в систему пожежного сповіщення і пожежогасіння в залежності від використовуваного типу. [10].

2.2 Особливості системи та застосування її на території АЕС

Особливості системи дозволяють виявити в ІЧ спектрі 7,5-13 мкм ділянки з підвищеною температурою, оцінює поточне максимальне значення температури по встановленим зонам зі стандартними значеннями з урахуванням впливу умов навколишнього середовища, відстані, коефіцієнта випромінювання об'єкта;

- Передає дані на центральний сервер в форматі потокового відео і радіометричних даних;
- Запис архіву;
- Ведення бази даних за значеннями температури;
- Формування звітності;
- Можливість ручного коригування порога температури для формування сигналів тривоги по необмеженому числу зон в кадрі;
- Допомога в прогнозуванні виходів з ладу і плануванні ремонтів.

Для отримання більш докладної інформації на територію атомної станції були запрошені співробітники компанії, яка допомогла розробити і встановити систему.



Рис. 2.3 – Розташування майданчиків контролю і розрахункове розміщення постів контролю на ВРП-110 кВ [10]

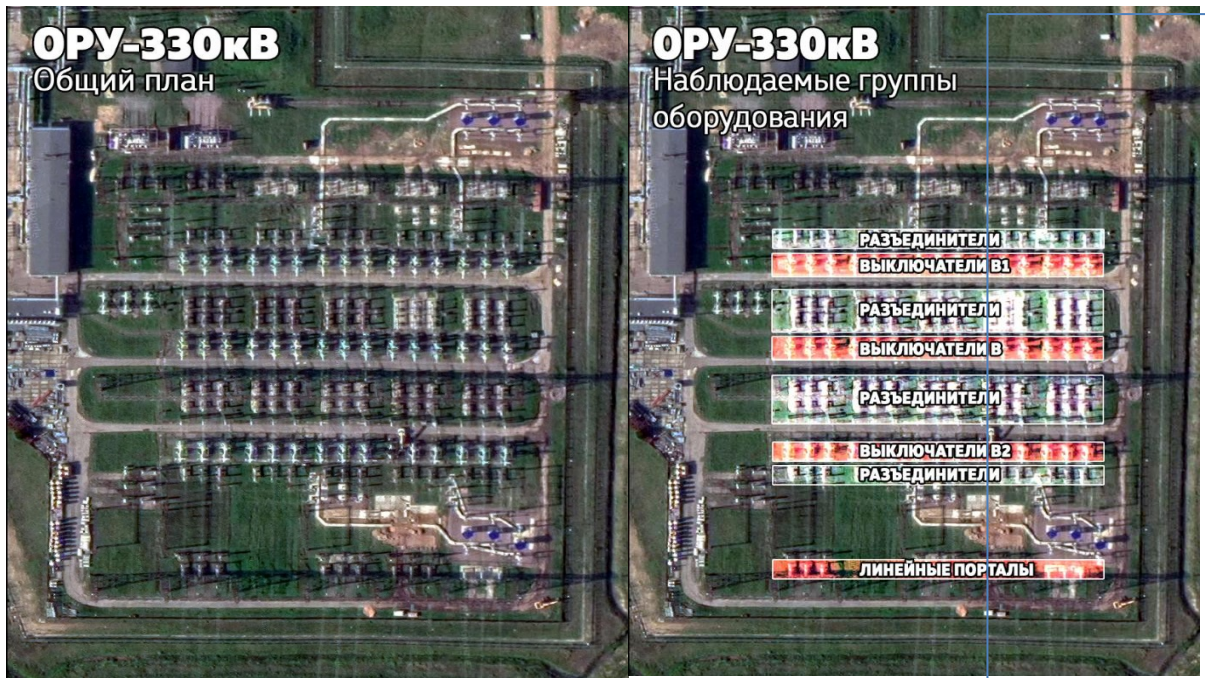


Рис. 2.4 – Розташування майданчиків контролю і розрахункове розміщення постів контролю на ВРП-330 кВ [10]

2.2.1 Пост контроль та його функції

В склад комплексу входить 20 постів контролю за периметр майданчиків ВРП 330, ВРП 110. В складі поста використані стаціонарні тепловізори і тепловізори на опорно поворотній платформі, оснащені радіометричними модулями з роздільною здатністю не менше 640x480 точок на дюйм, причому поворотні комплекти є комбінованими з відеокамерою високого дозволу з трансфокатором. Устаткування монтується в кліматичну оболонку, діапазон робочих температур -40 (50) ... $+ 50$ ° С (уточнюється на етапі проектування). Устаткування поста контролю встановлюється на заздалегідь підготовленій опорі або використовуються існуючі будівлі і споруди (уточнюється на етапі проектування). Пости контролю розміщуються щодо об'єктів контролю в наступному порядку (з урахуванням перекриття):

ВРП 110: 8 постів

ВРП 330: 12 постів



Рис. 2.5 – Гермобокс і поворотна платформа [10]



Рис. 2.6 – Тепловізор і промисловий міні-сервер поста контролю [10]



Рис. 2.7 – Розрахункове розміщення постів контролю на об'єкті [10]

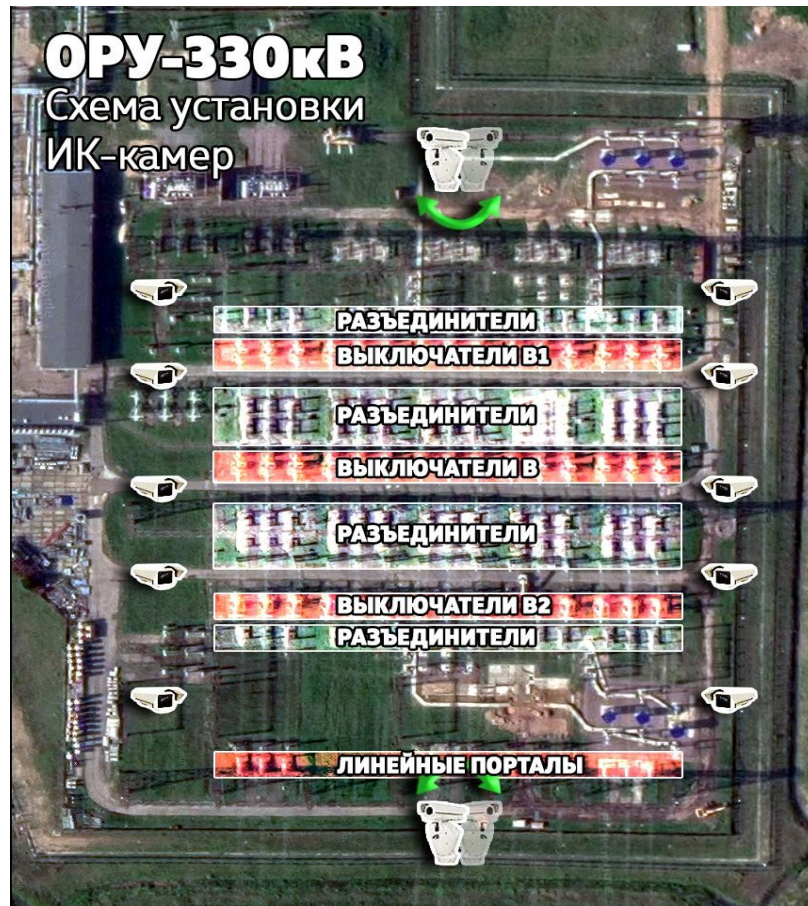


Рис. 2.8 – Розрахункове розміщення постів контролю на об'єкті [10]

Для точної ідентифікації підконтрольних об'єктів, обладнання в області оляду контролю персоналу, задіяного на об'єкті було вирішено використати стаціонарні і поворотні камери високого дозволу.

Функції пост контролю:

Отримання тепловізійного зображення певної сторони об'єкта контролю (огляд уздовж рядів розташованого обладнання);

Попередня обробка отриманих даних безпосередньо на борту мінісервера;

Передача даних на центральний сервер по мережі Ethernet;

Резервне зберігання архіву даних, отриманих за допомогою тепловізора;

2.3 Основні характеристики тепловізійного модуля

- Дозвіл 640x480 пікс / дюйм;
- Максимальна частота кадрів 32 кадри / секунду;
- Точність $\pm 2^{\circ} \text{C}$;
- Габарити 46мм x 56мм x 90мм;
- Точне розпізнавання температури об'єктів з розміром до 5x5 см на відстані до 50 метрів;
- Підтверджено в якості засобу вимірювання.

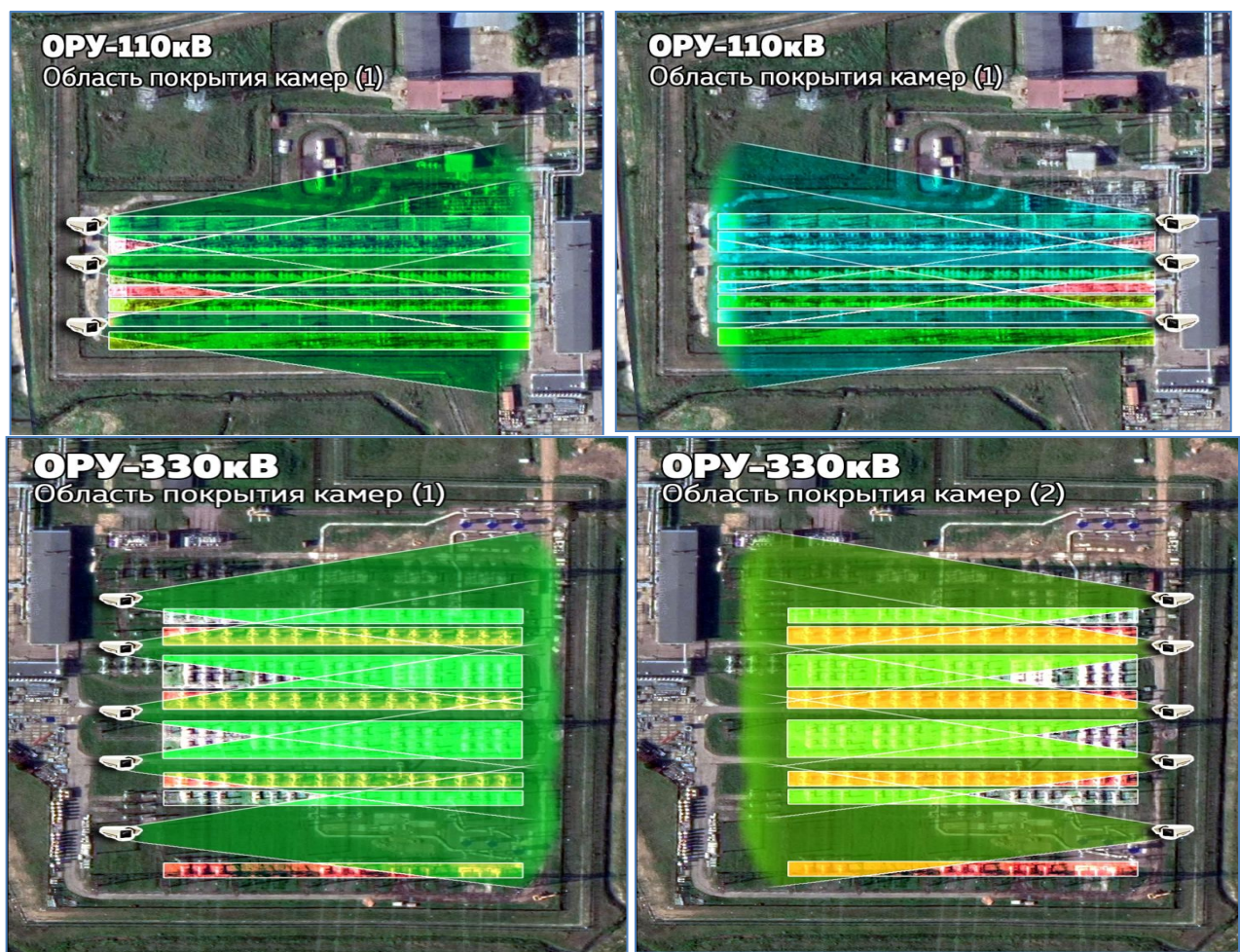


Рис. 2.9 – Область покриття стаціонарними камерами [10]

Живлення тепловізійних модулів і гермобоксів здійснюється напругою 24V або 230V (визначається на стадії проектування) від ізольованого джерела. Електроживлення передається до найближчої шафи в металорукаві з

ПВХ покриттям, або в металевих трубах. Шафа зроблена у виконанні стандарту захисту IP67. Усередині шафи встановлюється оптична сплайс-пластина і оптичні розетки. Місця їх установки уточнюються на стадії проектування з забезпеченням доступу для обслуговування.

2.3.1 Основні технічні характеристики відеокамери, розташованої на опорно пусковій установці та технічні характеристики поворотної платформи

- Дозвіл: 2.13MP (FullHD)
- Оптичне збільшення: 30х, (f4.3-129 mm)
- Світлочутливість: 0,01 лк при мінімальній освітленості

Основні технічні характеристики поворотної платформи:

- Кут повороту, град. : - по вертикалі: від +40 до -90 °
- Кут повороту, град. : - по горизонталі: від 0 до 360 ° (без обмежень)

Точність позиціонування: 0,02 °

- Швидкість нахилу, град. / Сек: - по вертикалі: від 0 до 50
- Швидкість повороту, град. / Сек: - по горизонталі: від 1 до 100
- Кількість установок положення: 64
- Тип інтерфейсу: RS-485; RS-422; Ethernet;
- Вихідний відеосигнал: Ethernet;
- Клас захисту: IP67
- Робоча температура експлуатації: -60 +50 (65) °C

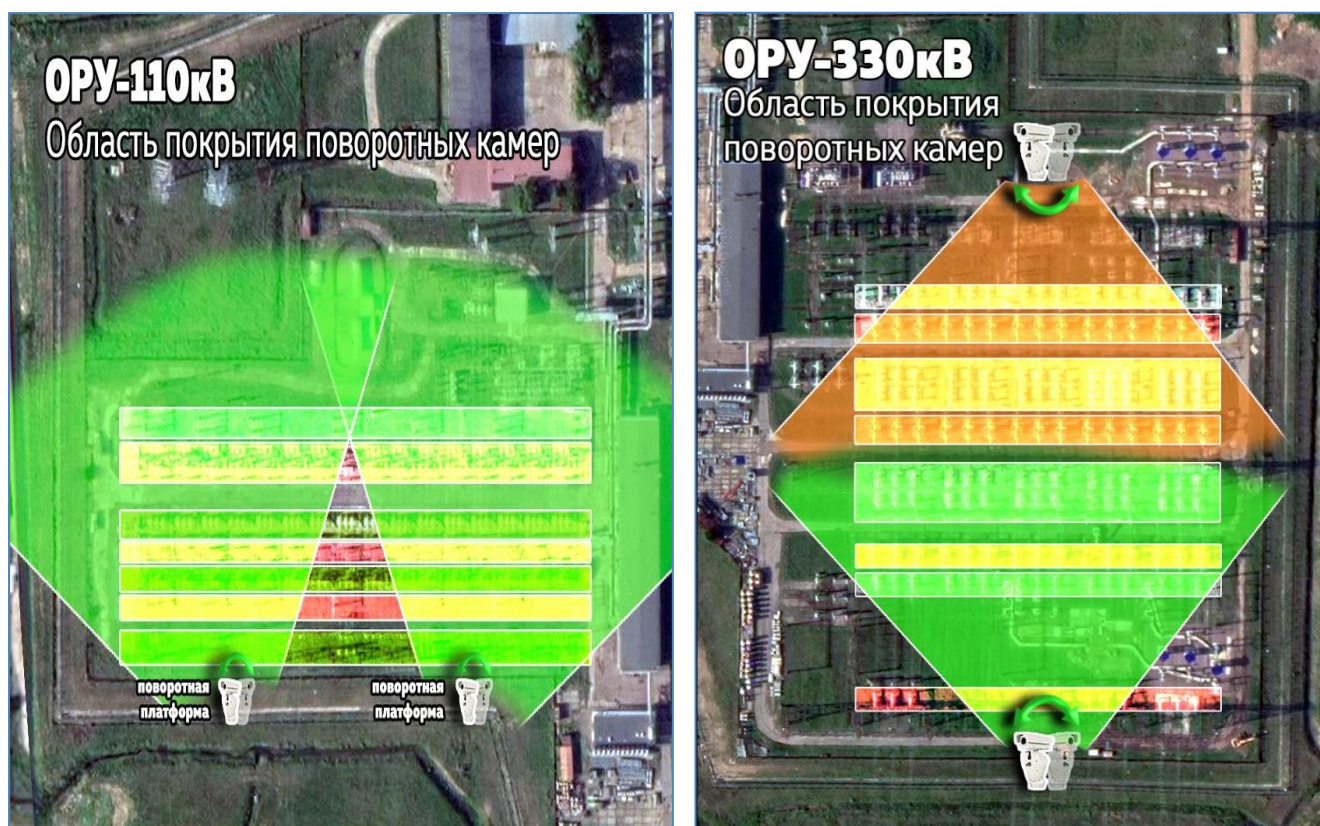


Рис. 2.10 – Область покрытия камер на ОПУ [10]



Рис. 2.11 – Сукупна область спостереження [10]

2.4 Центральний сервер та його функції

Центральний сервер і програмне забезпечення складається з декількох модулів:

- Модуль обробки термографічних даних - призначений для збору зображень зі всіх постів контролю, їх обробки, зберігання і відображення результатів контролю на інтерфейсі оператора. Крім того, центральний сервер служить для конфігурації постів контролю, зберігання та відображення архівних даних;

- Модуль відеозапису і аналізу;

- Модуль формування звітів і взаємодії з зовнішніми системами.

Обчислювальна підсистема модуля обробки термографічних даних центрального сервера являє собою промисловий комп'ютер з сучасним потужним процесором для виконання збору даних з постів контролю, обробки зображень, зберігання даних і взаємодії з іншими системами, а також для забезпечення призначеного для користувача інтерфейсу. В основі підсистеми лежить промисловий комп'ютер з пасивним (безвентиляторним) охолодженням. [10].

Функції центрального сервера:

- Отримання зображення з постів контролю;
- Обробка та аналіз отриманого зображення;
- Визначення статусу областей;
- Побудова і аналіз історії зміни розподілу температури;
- Візуалізація і відображення процесів;
- Конфігурація параметрів алгоритму аналізу зображення, зміна критеріїв контролю, їх параметрів і допусків;
- Ведення журналу і бази даних результат контролю;
- Ведення статистики;

- Перегляд статистики та архівних даних і формування звітів.

2.5 Застосування тепловізора в медичній практиці.

Методологія теплобачення знайшла застосування в медицині з середини минулого століття. За кордоном першою публікацією по цьому питанню стало повідомлення доктора R.N. Lawson з Канади про можливості діагностики раку молочної залози за допомогою термографії. Починаючи з 60-х років XX ст. число досліджень і публікацій з використанням цього методу в медицині росло, а сама термографія активно розвивалася.

Перші тепловізори в медицині з'явилися завдяки розробкам військової техніки. У Радянському Союзі такі роботи розпочались у 1950-і роки. А першою відкритою публікацією про теплобачення стала доповідь М.М. Мірошникова на XV конференції в 1961 році.

З початку 1960-х р. почалася серійна розробка, випуск і удосконалення тепловізорів, що дозволило створити в СРСР широку мережу тепловізійних центрів і кабінетів на базі різних медичних установ. До кінця XX ст. теплобачення активно використовувалося як у вітчизняній, так і в зарубіжній медичній діагностиці та клінічній практиці. Але, необхідно відзначити, що у даній технології є ряд обмежень і проблем, які призвели в подальшому до зниження інтересу до теплобачення в науковому співтоваристві і серед практикуючих фахівців.

У значній кількості випадків теплобачення дає важливу, але тільки додаткову інформацію до рентгенівської технології, лабораторним і іншим даним. Цінність тепловізійних досліджень при різних формах патології неоднакова, так як ступінь теплового прояву паталогічних процесів у різних пацієнтів і при різноманітних діагнозах може значно відрізнятися. Також в ряді випадків при явній патології за даними обстеження не виявляються порушення нормальної термотопографії. Поясненням цього факту служить те, що організм

нівелює можливі температурні порушення. При тепловізійному дослідженні реєструється лише термогенез самих поверхневих тканин, а глибинне «тепло» шунтується і видозмінюється при проходженні через шкіру, жирову клітковину.

Оцінка інформації виключно статичної нативної теплової картини не тільки не приносить бажаних результатів розпізнавання різної патології або клінічних синдромів, а й дескредитує теплобачення як функціональний метод інструментальної діагностики. Тому ще однією причиною спаду інтересу до теплобачення є переоцінка і недооцінка можливостей теплобачення.

Разом з тим існують такі клінічні ситуації, коли тільки на підставі термограми можна зробити вірні висновки, тобто теплобачення несе новий вид інформації, який притаманний тільки цьому методу, і може отримати «друге життя» в сучасному світі розвитку медичних технологій. [11].

Термографія в зарубіжній медичній практиці ортопедів отримала застосування при проведенні обстежень різних порушень і травм кістково-м'язової системи та сполучної тканини. Це обумовлюється тим, що діагностичні тести із використанням іонізуючого випромінювання можуть призвести до проблем у пацієнтів, тому інфрачервоне теплобачення незамінне при діагностиці, щоб не нанести шкоди пацієнту. Методика дозволяє виявляти локальні коливання температури, такі як ті, які виникають при запальних станах, пов'язаних з різними патологічними порушеннями, включаючи травми опорно-рухового апарату.

Наприклад, китайські дослідники:

HY Zhang, BY Cho, HS Kim, YE Cho в своїй статті наводять позитивні результати використання термографічної діагностики при травмі шийного відділу хребта.

KB Hosie, J. Wardrope, AC Crosby, DG Ferguson використовували термографію для діагностики переломів лопатки кістки.

Позитивно оцінюють результати застосування термографії при діагностиці та лікуванні різних пошкоджень кістково м'язової системи BB Lahiri, S. Bagavathiapan, T. Jayakumar, J. Philip.

Разом з тим E. Sanchis-Sanchez, C. Vergara-Hernandez, RM Cibrian, R. Salvador, E. Sanchis, P. Codocet-Franch, провівши огляд результатів різних медичних досліджень за допомогою термографії в діагностиці кістково-м'язових травм, роблять висновок про відсутність діагностичної точності інфрачервоного теплового зображення у пацієнтів з травмою опорно-рухового апарату.

Розвиток інформаційних технологій і мобільних додатків дозволяє зробити термографію не тільки недорогою процедурою, але також швидкою і зручною в використанні. На це вказують T. Kanazawa et al., що оцінюють позитивне застосування смартфона в мобільній термографії для оцінки субклінічного перебігу запалення. [12]

У вітчизняній медичній практиці в ході різних клінічних досліджень були встановлені відхилення від температурних норм і термотопології при різних захворюваннях хребта.

На думку ряду авторів, теплобачення значно розширює можливості діагностики, його слід використовувати як додаткове дослідження при болях в спині і суглобах, що доповнює традиційні методи діагностики. При проведенні досліджень хребетного стовпа з допомогою тепловізора можна виявити

функціональні порушення на ранній стадії захворювання, коли ще відсутні структурні зміни.

Наприклад, В.І. Віноградов каже, що при обстеженні пацієнтів з остеохондрозом хребта термографічні ознаки остеохондрозу виявлялися при відсутності таких на рентгенограмі. Термографічна візуалізація дозволила дослідникам виявити різні нейрососудисті порушення ще до появи клінічної картини. І.А. Жарова зазначає позитивний ефект використання теплобачення у

хворих остеохондрозом і плоскостопістю для оцінки функціонального стану опорно-рухової системи до і після проведення курсу фізичної реабілітації.

Теплобачення знайшло своє застосування в ряді великих медичних установ. Наприклад, метод функціонального теплобачення широко використовується в травматології та ортопедії з 1977 року. На сьогоднішній день розроблені оригінальні методики обстеження і діагностичні критерії оцінки патологій, багато з яких мають світову новизну і захищені патенти.

Ще одним напрямком виступає застосування тепловізійних досліджень в ході оперативних втручань. Світову наукову новизну метод отримав в останні роки, що стосуються операцій на хребті по приводу гриж міжхребцевих дисків і пухлин спинного мозку. Цінність отриманої інформації стала причиною того, що в даний час теплобачення регулярно використовується в ході подібних оперативних втручань для вирішення різних діагностичних, тактичних та прогностичних завдань.

Наприклад, на сьогоднішній день розроблені:

- спосіб оцінки порушень нервової провідності спинномозкових корінців, компримованого грижею міжхребтового диску;
- спосіб прогнозування відновлення порушених функцій після декомпресії корінців кінського хвоста;
- спосіб інтраопераційної діагностики бічній локалізації грижі пояс-роздрібного міжхребцевого диска.

На сьогоднішній день автоматичні методи аналізу тільки розробляються, лише частково впроваджуються в практику медичних досліджень, але в науковому середовищі вже давно говорять про необхідність розроблення практики застосування автоматичного аналізу термограм. [13]

Висновки до розділу 2

1. Безконтактний метод контролю дозволяє виявити дефект на ранній стадії,

а також контролювати стан з моменту введення в експлуатацію до подальшого ремонту. Система не вимагає постійної присутності оператора, налаштована на передачу сповіщень по заданих подій, накопичення статистики та надсилати звіти по кожному з спостережуваних об'єктів за певний

проміжок часу.

2. Завдяки даній системі можна контролювати тенденції і відхилення в роботі

електрообладнання.

3. Розроблений комплекс дозволяє здійснювати точний автоматичний безперервний моніторинг температур в широкому діапазоні вимірювання для кожної точки об'єкта. Контроль ведеться за часом (циклу), розташуванню, температурі, підвищенню її значень і розмірами відповідної зони. За вказаними даними збирається статистика, яка дозволяє користувачеві прогнозувати з остояніе об'єкта і оцінити залишковий ресурс.

4. При зниженні навантаження на персонал і підвищенні точності і швидкості

аналізу, досягається висока продуктивність і ефективність застосування технології постійного тепловізійного моніторингу на виробництві.

5. Економічна доцільність проведення тепловізійного обстеження електроустаткування проявляється в зниженні обсягів планових робіт, оперативному усуненні аварійних дефектів, можливості планування капітальних вкладень в енергогосподарство. [10].

6. Проведений огляд дозволяє зробити висновок про те, що використання термографії в клінічній практиці в даний час носить прогресуючий характер.

Теплобачення як метод медичної діагностики має високий потенціал в

ортопедії, так як різні патології дають ізотермічні зміни, які можна реєструвати на термограмах.

7. Методика дозволяє проводити моніторинг лікування (як хірургічного, так і консервативного), повторювати дослідження в динаміці, надавати додаткову діагностичну інформацію по ряду різних патологій.

8. У той же час широкого застосування в клінічній практиці тепlobачення не отримало через нестачу в об'єктивності даних аналізу термограмм. Змінити ситуацію можна на основі застосування сучасних тепловізорів, що мають високу роздільну здатність, а також використання уніфікованих автоматичних програм для обробки термозображень.

9. Незважаючи на певні обмеження, тепlobачення може знайти своє місце в клінічній практиці, а з широким розповсюдженням невеликих і недорогих інфра червоних камер, можливо, стане частиною звичайної діагностичної оцінки. [10].

3. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄКТИВА МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕПЛОВІЗОРА

Тепловізійні прилади мають широку сферу застосування. Однак їх недоліками є великі габаритні розміри і маса.

У сучасному оптичному приладобудуванні широко поширені прилади, що працюють в інфрачервоній області спектра. Однак прилади, виготовлені вітчизняної промисловістю, мають значні масу і габаритні розміри. У зв'язку з цим була поставлена задача розрахунку параметрів малогабаритного тепловізора, загальна довжина якого не перевищувала б 200 мм.

Тепловізор є оптико-електронним приладом, який перетворює теплову енергію випромінювання спектрального діапазону $\lambda = 3 \dots 5$ мкм в видиме випромінювання.

Прилад призначений для спостереження теплового випромінювання різних об'єктів і їх виявлення. Таким чином, прилад може бути використаний в нафтопереробній промисловості, енергетиці, харчових виробництвах, системах охорони. Оптична система приладу повинна складатися з об'єктива і каналу візуалізації. Цей розділ присвячений розрахунку параметрів об'єктива малогабаритного тепловізора. Відповідно до технічного завдання (ТЗ). [14].

3.1 Оптична схема приладу та її характеристики

Фокусна відстань f , мм 74

Кутове поле 2ω , град 5

Відносний отвір $D / f > 1 / 2$

Спектральний діапазон λ , мкм 3. 5

Загальна довжина оптичної системи об'єктива

$L_{об.}$, мм < 150

Мінімально спостережна різниця температури ΔT , К 0,25

Дальність, мм:

- виявлення 500

- розпізнавання об'єкта L 352

Імовірність Р виявлення об'єкта на відстані більш ніж 500 м, % 50

Приймач випромінювання: 64-елементна лінійка фоторезисторів ФУР129Л
з розмірами чутливого елемента $0,1 \times 0,1$ мм

3.2 Умови експлуатації тепловізора.

- 1) безвідмовне напруцювання не менш ніж 300 год.;
- 2) діапазон значень робочої температури $t_0 = 20 \dots + 40^\circ \text{C}$;
- 3) тепловізор повинен зберігати працездатність при відносній вологості не більш ніж 80 % і температурі 20°C .

Методика розрахунку об'єктива малогабаритного тепловізора складається з наступних етапів.

1. Вибір типу оптичної схеми і значень параметрів об'єктива (f ; 2ω ; D/f ; λ ; $L_{об}$), а також ймовірності виявлення об'єктів Р і розмірів чутливого елемента приймача випромінювання. Значення перерахованих параметрів об'єктива наведені в ТЗ.

Аналіз патентних матеріалів, дозволив визначити структуру оптичної схеми, що застосовується для розрахунку об'єктива малогабаритного тепловізора. Являє інтерес варіант об'єктива, оптична схема якого показана на рис. 3.1. Конструктивно об'єктив складається з двох груп меніскових лінз.

Перша група - позитивна лінза 1 і негативна лінза 2, між ними розташована апертурна діафрагма (АТД). [14].

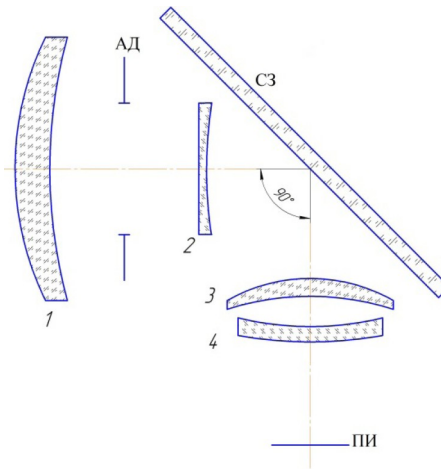


Рис. 3.1 – Оптична схема досліджуємого об'єктива [14].

1-4 - лінзи; АДД - апертурная діафрагма; СЗ - скануюче дзеркало; ПВ - приймач випромінювання

Після дзеркала випромінювання пройшовши другу групу лінз, потрапляє на приймач випромінювання (ПВ). Конструктивні параметри об'єктива-аналога наведені в таблиці 3.1. [14]

Таблиця 3.1 – Конструктивні параметри [14]

Номер поверхні	Радіус, мм	Товщина, мм	Показник преломлення	Матеріал	Світловий діаметр, мм
1	72,780	6,0	3,42530	Кремній 1А2 КЭФ 25/2,5–76	60,6
2	108,898	34,0	1,00000	Повітря	60,6
3	219,788	3,0	4,02475	Германій ГМО–1–40	36,8
4	74,461	50,0	1,00000	Повітря	35,4
5	44,164	5,0	3,42530	Кремній 1А2 КЭФ 25/2,5–76	47,8
6	86,088	7,5	1,00000	Повітря	46,8

Продовження таблиці 3.1

7	- 79,055	3,0	1,41099	Флюорит	45,4
8	- 204,200	24,8	1,00000	Повітря	41,9

1. Використання в якості критерію якості зображення об'єктиву діаметр плями розсіювання.

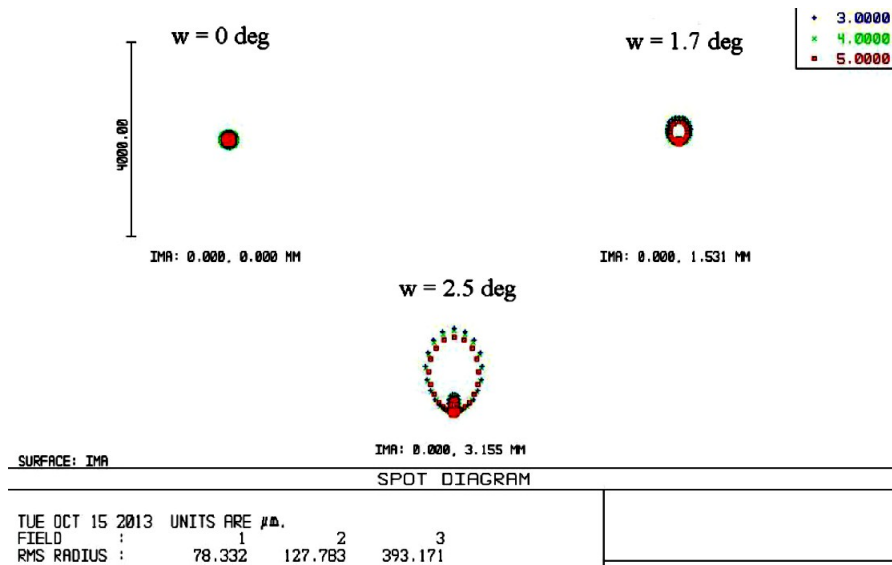


Рис. 3.2 – Діаграми плями розсіювання вихідного об'єктива (RMS Radius - середноквадратичний радіус плями розсіювання, мкм) [14]

Для визначення значення вказаного діаметру скористаємося теоремою Джонсона, згідно з якою для виявлення об'єктів з ймовірністю P не менш ніж 50 % об'єктив повинен формувати пляму розсіювання, яка буде охоплювати не менше двох чутливих елементів приймача випромінювання. Таким чином, пляма розсіювання розраховуємого об'єктива повинна мати діаметр 0,2 мм.

2. Аналіз аберацій об'єктива-аналога. Виконан розрахунок аберацій. Діаграми плями розсіювання представлені на рис. 3.2; поперечна сферична аберація для точки на осі - на рис. 3.3, а, поперечні аберації для точки поза осі - на рис. 3.3, б.

Результати розрахунку показали, що об'єktiv-аналог хоча і має малі

габаритні розміри, але якість його зображення не відповідає встановленому критерію. Згідно рис. 3.2, діаметр плями розсіювання становить 0,6 мм, а необхідне значення повинно дорівнювати 0,2 мм. [15].

3. Проведен пошук оптимального рішення оптичної схеми об'єктива з допомогою синтезу об'єктива на основі різних моделей оціночних функцій.

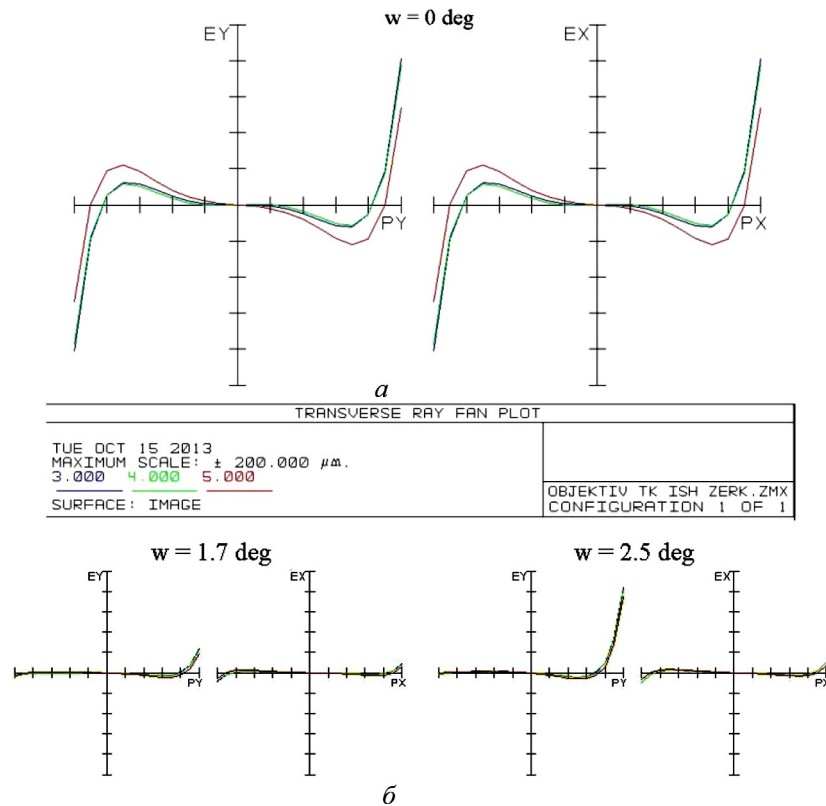


Рис. 3.3 – Поперечна сферична аберація Δy^j для точки на осі (а) (масштаб графіка по осях 2000 мкм) і поперечні аберації для точки поза осі (б) (масштаб графіка по осях 200 мкм). [14]

PY, PX - відносні координати у вхідній зіниці.

Для оптимізації були обрані оператори, які контролюють при розрахунку задані значення поперечної сферичної абстракції, коми, задньої фокусної відстані і загальної довжини оптичної системи. Це оператори TRAC, COMA, EFFL і TOTR відповідно. Для операторів TRAC (поперечна сферична аберація) і COMA (меридиональна кома) значення рівні нулю, для оператора EFFL (задня фокусна відстань) - 74 мм, для оператора TOTR - 135 мм. Обчислення значення критерію проведено для центру тяготіння променів в

кожній точці поля.

Під час розрахунків був присутній пункт Default Merit Function (завдання оціночної функції оптимізації), з допомогою якого з'являється таблиця з вибраними операторами оптимізації та їх значеннями. У цій таблиці необхідно вказати необхідні значення операторів, які повинні бути отримані при оптимізації. Після проведення оптимізації були визначені конструктивні параметри об'єктива (табл. 3.2) [14].

Значення таких параметрів об'єктива, як f , 2ω , D/f , λ і L відповідають значенням, наведеним в ТЗ.

Таблиця 3.2 Розрахункові значення конструктивних параметрів об'єктива [14]

Номер поверхонь	Радіус, мм	Товщина, м	Показник заломлення	Матеріал	Світловий діаметр, мм
1	96,350	6,0	3,42530	Кремній 1А2 КЕФ 25/2,5-76	48,3
2	185,667	34,0	1,00000	Повітря	46,6
3	- 939,476	3,0	4,02475	Германій ГМ О-1-40	26,4
4	144,037	50,0	1,00000	Повітря	26,1
5	58,394	5,0	3,42530	Кремній 1А2 КЕФ 25/2,5-76	34,2
6	175,204	7,5	1,00000	Повітря	33,0
7	- 70,507	3,0	1,41099	Флюорит	28,1
8	- 120,772	24,8	1,00000	Повітря	28,4

4. Оцінка якості зображення розрахованого об'єктива по заданим критеріям. Характеристики якості розрахованого об'єктива представлені на рис. 3.4 і 3.5.

3.3 Аналіз отриманих графіків

Згідно з аналізом представлених графіків, діаметр плями розсіювання становить 0,05 мм. Отримане значення істотно нижче необхідного (0,2 мм). Як випливає з теорії Джонсона, при такому діаметрі, плямі розсіювання не буде забезпечена задана ймовірність виявлення $P = 50 \%$.

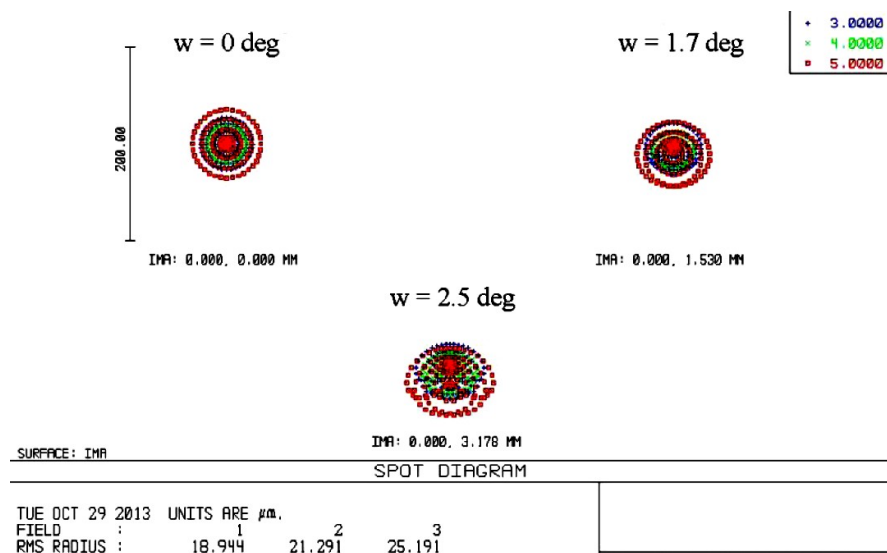


Рис. 3.4 – діаграми плям розсіювання вихідного об'єктива
(RMS Radius – середньоквадратичного радіуса плями розсіювання, мкм)

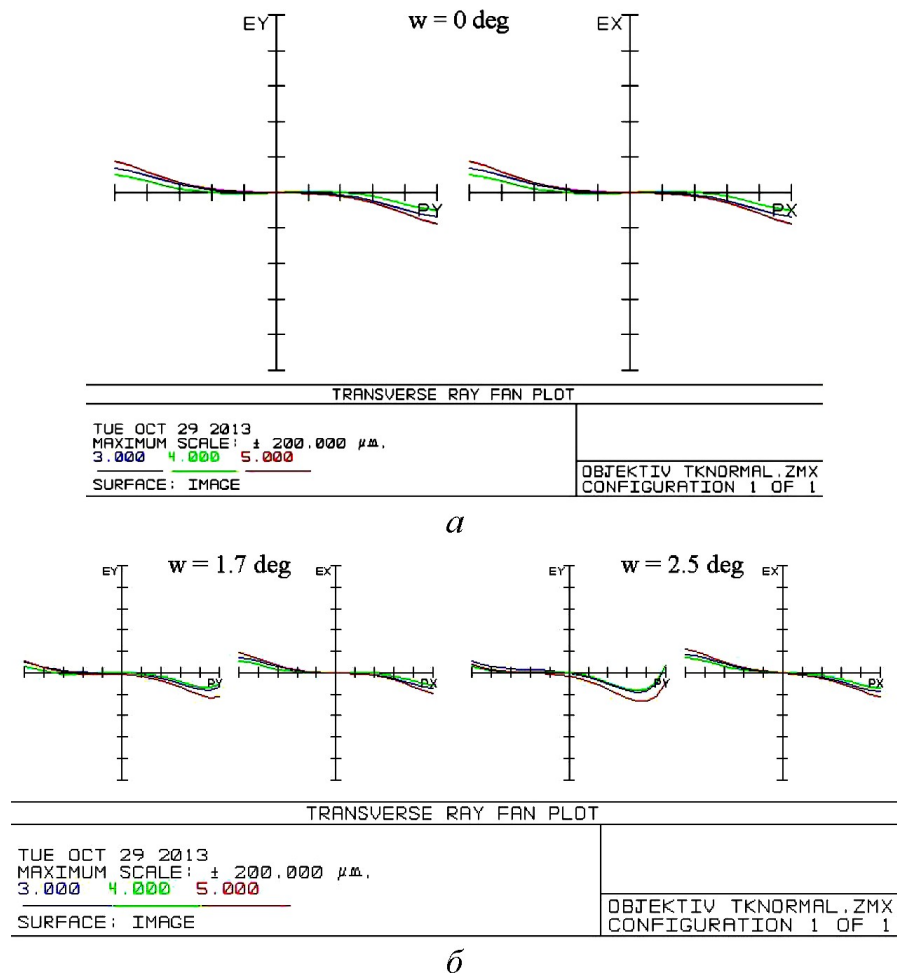


Рис. 3.5 – Поперечна сферична аберація Δy^j для точки на осі (а) (масштаб графіка по осях 200 мкм) і поперечні аберації для точки поза осі (б) (масштаб графіка по осях 200 мкм) [14]

PY, PX - відносні координати у вхідній зіниці

Однак таке значення діаметра (0,05 мм) дає ідеальна оптимізована система. Тому було прийнято рішення розрахувати діаметр плями розсіювання для реальної системи, тобто з урахуванням похибок виготовлення, складання і юстування елементів об'єктива. [16].

Розрахунок критерію якості зображення об'єктива з урахуванням допусків на його виготовлення за методикою, описаною в роботі. Результати розрахунку допусків на конструктивні параметри розрахованого об'єктива наведені нижче:

допуск:

- на радіуси кривизни поверхонь лінз
- при $\lambda = 0,6328$ мкм п'ять кілець Ньютона
- товщину лінз, мм $\pm 0,2$
- товщину повітряних проміжків, мм $\pm 0,5$
- децентріровку поверхонь в лінзах, мм $\pm 0,1$
- децентріровку лінз в оправках, мм $\pm 0,1$
- нахил лінз в оправках, кут. хв $\pm 3,0$

Висновки до розділу 3.

1. Результати виконаної роботи показали, що розрахований об'єктив з вказаними діапазонами значень допусків забезпечує необхідні значення діаметра плями розсіювання, а отже, і задану імовірність виявлення об'єктів. Значення допусків показують, що їх можна отримати в сучасному оптичному виробництві. Згідно з дослідженнями, об'єктив, виготовлений із зазначеними допусками, формує пляма розсіювання діаметром 0,2 мм.

2. В процесі оптимізації були збережені малі габаритні розміри оптичної системи об'єктива.

4. ПРОПОЗИЦІЯ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ АНАЛІТИЧНОЇ ТЕПЛОВІЗУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Всім відомо про те, що тепловізори достатньо дорогі. Але виходячи з опрацьованої літератури можна зрозуміти, що ці системи можна за можливості здешевшати шляхом розробки компактного тепловізора. В нашому випадку: коли один або декілька тепловізорів можна об'єднати ради однієї цілі – передчасної пожежі.

І коли стає вибір між вкластися в гарну систему пожежної безпеки (також цю систему можна об'єднати в майбутньому з системою самої безпеки приміщення), або просто поставити якихось датчиків дешевих і надіятись на те, що вони врятують у час Х. То гарним вирішенням цієї дискусії буде аргументовано придбати та встановити систему, яка швидко розпізнає небезпеку і вчасно подасть потрібний сигнал.

Якщо взагалі по простому... То об'єднавши декілька тепловізорів в єдинну систему спостереження можна обитися ефективного результату спостережень і швидкого і якісного реагування.

В подальшому можна вдосконалювати цю систему, що може призвести до якісної конкуренції системам з багатьма датчиками. Такими як, наприклад датчик задимленості.

Цей датчик спрацює лише коли на його сенсор активності потрапить дим. Та це вже може бути пізно. Бо диму без вогню не буває, а значить, що істотний полум'я десь поряд (точні координати не відомі) і пожежно-рятувальна бригада потратить ще досить великий і цінний час на виявлення очагу.

Аналітична тепловізуальна система дозволила би вже через декілька секунд передати сигнал тривоги на пожежний пункт і приблизне місце пожежі. Що дозволило би рятувальникам швидко протидіяти загрозі і шанси на порятунок людей, майна вирости би в рази.

Наприклад, якщо в приміщенні де установленні датчики задимленості хтось вирішив посмалити (навіть не цигарки), а електронну сигарету або ще

щось, то верогітність спрацювання одного або навіть системи дуже велика. Що не відбулося би при такому же випадку с АТВС. Бо в контролер відповідаючий за подачу одного з двох сигналів завантажується таблиця значень температурних залежностей (розраховується на стадії проектування), що дозволяє звести до мінімуму ложні виклики.

4.1 Температурний режим пожежі в приміщенні.

Під розвитком пожежі розуміють зміну основних параметрів пожежі в часі і просторі. Основними змінними в часі параметрами пожежі в приміщенні є: площа пожежі, температура пожежі, інтенсивність задимлення. Ці параметри можна не тільки вимірювати, але і за допомогою розрахунків прогнозувати їх розвиток.

Як правило, гасіння пожежі починається через 20-30 хвилин вільного розвитку, коли всі параметри пожежі вже досягли свого максимального значення. При проведенні гасіння необхідно враховувати той факт, що тривалий вплив високих температур на будівельні конструкції негативно позначається на несучої здатності останніх.

Для зниження пожежної небезпеки промислових об'єктів їх необхідно оснащувати автоматичними системами пожежної сигналізації та гасіння, які включаються на перших фазах розвитку пожежі і здатні або повністю припинити горіння, або стримують розвиток пожежі. Та системи, що дозволять швидко виявити очаг і направити туди всі сили і засоби. [18].

Для уніфікації методики визначення вогнестійкості будівельних конструкцій на підставі проведення дослідів пожеж в житлових і промислових будівлях була запропонована залежність температури пожежі від часу його розвитку:

$$t = 345 \lg (8\tau + 1), [18] \quad (4)$$

де:

τ – час розвитку пожежі.

$\lg$ – десятковий логарифм.

Такий температурний режим називається стандартним температурним режимом. Він відображає тільки експериментальні дані і тільки за умови, що пожежа розвивається як необмежена.

4.2 Критичний час розвитку пожежі в огорожі

Критичний час розвитку пожежі - час від виникнення горіння до досягнення критичної для організму людини температури або зниження концентрації кисню нижче гранично допустимих значень. Критичний час розвитку пожежі залежить від об'єму приміщення, площі пожежі, теплоти згорання, масової швидкості вигорання.

Слід враховувати, що при зниженні концентрації кисню в повітрі до 16% відбувається втрата свідомості, а при зниженні концентрації нижче 14-15% в організмі людини починаються незворотні процеси, і може настати смерть.

Підвищення температури в приміщенні, в якому відбувається пожежа, визначає критичний час розвитку пожежі по температурі. Критичним значенням температури вважається 700 градусів і перебування людей в приміщенні з такою температурою вважається неможливим.

Під температурним режимом пожежі розуміють зміну температури пожежі в часі. Існує три основних моделі, які описують температурний режим під час пожежі в огорожі:

- Диференціальна модель;
- Інтегральна модель;

- Зонна модель;

Найбільш повною є диференціальна модель, в якій енергетичний і матеріальний баланс пожежі представлений у вигляді диференціальних рівнянь. Диференціальна модель дозволяє визначати температуру пожежі в довільній точці приміщення на будь-якій стадії розвитку пожежі. Точність отриманих результатів залежить від прийнятих при розрахунках припущень. Робота з диференціальною моделлю пов'язана з використанням складних математичних розрахунків з використанням обчислювальної техніки, і тому на практиці використання диференціальної моделі утруднено. [18].

Найбільш простою моделлю температурного режиму пожежі в приміщенні є інтегральна модель, яка має справу зі середньооб'ємними параметрами (температурою, концентрацією диму і отруйних компонентів газового середовища). Недоліком такої моделі є досить приблизний облік просторових залежностей небезпечних факторів пожежі.

4.2.1 Зонна модель розрахунку температури

Зонна модель розрахунку температури передбачає, що при горінні матеріалу в приміщенні утворюються кілька зон, в яких протікають різноманітні фізичні процеси, пов'язані з тепло і масопереносом.

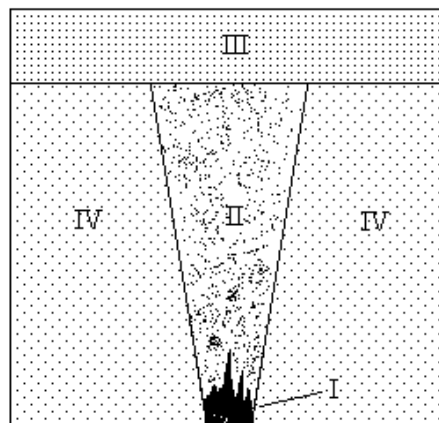


Рис 4.1 – Зонна модель [18]

Перша зона - зона горіння, в якій безпосередньо відбувається згорання матеріалів, виділення енергії в променистій формі, створення нагрітих продуктів

горіння. У цій зоні температура весь час розвитку пожежі залишається постійною і дорівнює температурі горіння.

У розрахунках зону горіння замінюють точковим джерелом тепла, який розташовують нижче рівня поверхні.

Друга зона - це димогазова колонка, що має форму перевернутого конуса, який починається на місці "точкової" пожежі. У димогазовій колонці розігріті продукти горіння швидко підіймаються під дією архімедівських сил в верхні прошарки приміщення. При цьому в нижній частині димогазової колонки за рахунок високої швидкості проходження потоку відбувається активне нагнітання холодного повітря в нагрітий потік, що призводить до зниження як концентрації продуктів горіння так і їх температури в колонці. У середній і верхній частині димогазової колонки нагнітання холодного повітря практично не відбувається.

Третя зона - прошарок біля стелі. У приміщеннях з обмеженою висотою (менше 6 метрів) димогазова колонка розбивається на поверхні перекриття, і продукти горіння рівномірно розтікаються вздовж стелі в горизонтальному напрямку. У прошарку біля стелі нагріті продукти горіння практично не переміщуються з холодним повітрям приміщення, але товщина цього прошарку в процесі горіння постійно наростає. [18].

Четверта зона - зона холодного повітря. У цій зоні на початковому етапі пожежа практично не відчувається. Тут знаходиться основна маса окислювача, який дифундує в зону горіння і підтримує розвиток пожежі.

Прийнято вважати, що радіус колонки визначається як 18% від її висоти, товщина шару продуктів горіння під стелею - 1% від висоти колонки, а відстань, на яку опускається уявна точка горіння, - 1,5 діаметра комірки пожежі:

$$R = 0,18 H; h_{\text{пот.}} = 0,01H; h_{\text{уяв.}} = 1,5 d_{\text{пож.}} \quad [18] \quad (4.1)$$

Між усіма виділеними зонами протікають процеси тепло і

масопереносу. Горючі речовини і окислювач реагують між собою в першій зоні, тут виходять продукти горіння, відбувається виділення енергії у вигляді теплоти пожежі. У другій зоні відбувається масоперенос і перенесення енергії з першої зони в прошарок біля стелі, де накопичуються продукти горіння і тепло. Тут протікає активний теплообмін між продуктами горіння і огорожувальними конструкціями. Між зоною холодного повітря (IV) і іншими зонами теж протікає процес тепло і масообміну.

Четверта зона піддається нагріванню тепловим випромінюванням від нагрітих продуктів згорання. Вона одночасно є резервом окислювача.

Кінцевим результатом тепло і масообміну буде повне заповнення продуктами згорання обсягу приміщення і практично рівномірне нагрівання його.

Основні процеси масопереносу протікають в димогазовій колонці. Температура в середині факела $T_{ад}$ залежить від теплотворної здатності пальної речовини і масової швидкості вигорання.

$$T_{ад} = \frac{Q_H}{c_p \cdot V_M} + 273 \quad [18] \quad (4.2)$$

У самій димогазовій колонці в міру віддалення від джерела горіння обсяг продуктів горіння збільшується, а температура знижується. Температуру безпосередньо в димогазовій колонці можна визначити як:

$$t_{кол} = t_0 + 16.9 \sqrt[3]{\frac{Q_{пож}^2}{H^5}} \quad [18] \quad (4.3)$$

де:

$$Q_{пож} = h Q_H / V_M$$

$S_{пож}$ - теплота пожежі, кВт;

H - висота димогазової колонки, м;

t_0 - початкова температура середовища в приміщенні, С.

Поза димогазовій колонці (третя зона) максимальна температура продуктів горіння знаходиться безпосередньо на кордоні колонки. При видаленні від цієї межі температура знижується.

Поле температур у верхній частині приміщення під стелею описується рівнянням:

$$t_{\text{ст}} = t_0 + 5.38 \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{пож}}^2}{R^2 H^3}} \quad [18] \quad (4.4)$$

Швидкість вертикального переміщення продуктів горіння в димогазовій колонці ($R < 0.18 \cdot H$) є функцією теплоти пожежі і може бути визначена за формулою:

$$V_{\text{верт}} = 0.946 \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{пож}}}{H}} \quad [18] \quad (4.5)$$

Горизонтальне переміщення продуктів горіння в припотолочному шарі

($R > 0.18 \cdot H$) може бути визначена, як:

$$V_{\text{гориз}} = 0.197 \sqrt[6]{\frac{Q^2}{H^3 R^5}} \quad [18] \quad (4.6)$$

Час проходження теплового імпульсу від зони горіння до припотолочного шару можна визначити, як:

$$\tau = \frac{H}{V_{\text{верт}}} = 1.06 \frac{H^{1.33}}{Q_{\text{пож}}^{0.33}} \quad [18] \quad (4.7)$$

Мінімальна кількість енергії, яка може привести до підвищення температури до критичної позначки, може бути визначена з рівнянь:

$$Q_{\min} = 0.014 \sqrt{H^5 (t_{\text{кр}} - t_0)^3}, \text{ МДж} \quad [18] \quad (4.8)$$

в димогазовій колонці (R < 0.18*H)

$$Q_{\min} = 0.08R \sqrt{H (t_{\text{кр}} - t_0)^3}, \text{ МДж} \quad [18] \quad (4.9)$$

в прошарку біля стелі (R > 0.18*H).

Зонна модель дає хороші результати при розрахунку температури в припотолочній зоні і часу зростання температури в цій частині приміщення до значень, при яких повинні спрацювати системи пожежної автоматики.

Використання зонної моделі допомагає визначити температуру над джерелом пожежі на будь-якій висоті, розрахувати швидкість підйому продуктів згорання і швидкість наростання температури. Ця модель використовується при розрахунку часу спрацювання датчиків пожежної сигналізації. Я використав як приклад розрахунку для совєї системи. [18].

4.3 Блок-схема системи.

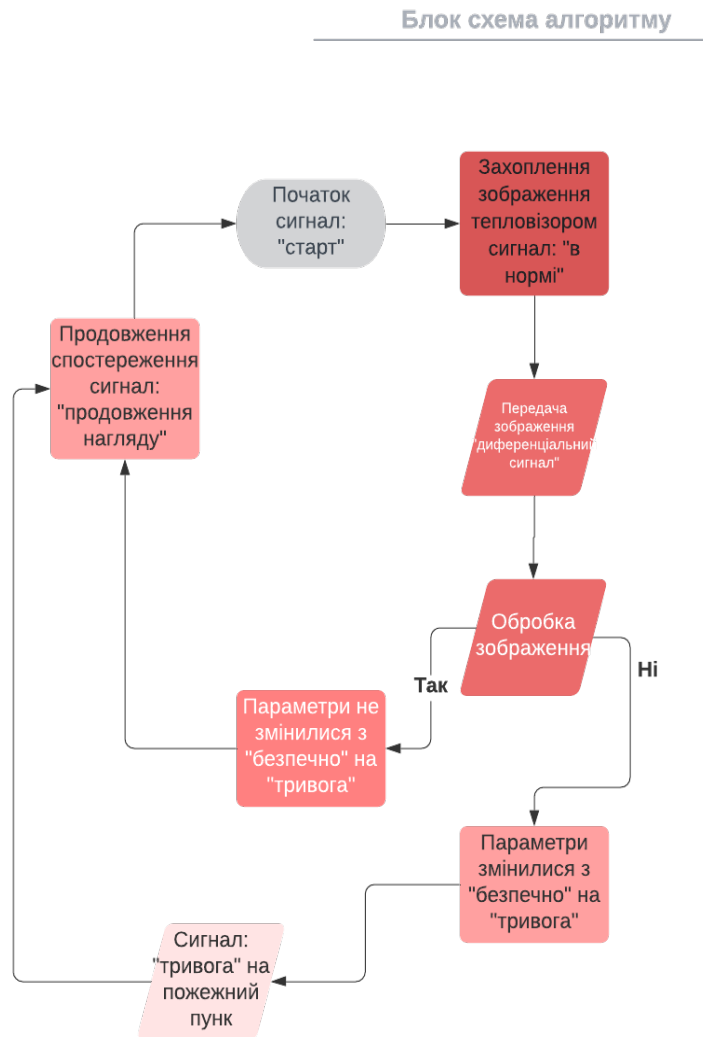


Рис. 4.2 – Блок-схема аналітичної тепловізуальної системи

4.4 Робота алгоритму блок-схеми.

Алгоритм роботи:

Монтаж системи (живлення, тепловізор, блок: передача, обробка, прийняття рішення згідно аналізу завантаженим значенням).

Початок: сигнал «старт»:

Включення системи в мережу, подача сигналу «старт» на тепловізор або систему тепловізорів.

Захоплення зображення тепловізором (сигнал «в нормі»):

За допомогою тепловізора та даних (які внесені в мікроконтролер (для предметів які різко можуть змінювати температуру від сигналу «в нормі» до «безпечно» або «тривога»)).

Передача зображення (диференціальний сигнал):

За допомогою диференціального сигналу передавати кожної години та хвилини інформацію для подальшої фільтрації та обробки.

Обробка зображення:

Мається на увазі, що система аналізу зображення відфільтровує позитивні данні (такі, які не відходять від заданих параметрів), наприклад: температура дорослої кішки 37,8 – 39,2°C, а у здорової людини 36,6, у деяких людей нормальною може бути від 35,9 до 37,2. Та щоб запобігти не правильній обробці інформації з тепловізора і зменшити навантаження на систему обробки цієї інформації, потрібно зробити сталими температурні параметри для питомців, мешканців (живих створінь або деяких предметів в залежності від замовника і його потреб), які не будуть перешкоджати нагляду тепловізора за великою зоною відповідності.

Тому в мікроконтролер обов'язково потрібно внести значення від 35,9 до 39,2 (за похибкою тепловізора температура буде в межах $\pm 2^{\circ}\text{C}$. І проробити цю процедуру для кожного випадку в окремій кімнаті для найбільш чутливих предметів, і т.д.

Коли все працює, є зображення, то його потрібно опрацювати для того, щоб потім система могла прийняти рішення.

Тому задаються часові параметри (які дозволяють зрівняти один і той же предмет або якусь зону) кожної години та хвилини. Чому не секунди ? Бо для остаточно прийняття рішення про подачу сигналу «треивога» потрібно більше аналізу одного предмету, який за годину або добу змінив температурні

показники в межі допустимих значень. Та це б не призвело до ложного виклику рятувальної або пожежної служби.

Звірка допустимих значень завантажених до мікроконтролера для прийняття одного з двох рішень:

Так, якщо все гаразд і тепловізор не зафіксував різких змін згідно завантажених теплових параметрів в нього (в зоні його нагляду за поточну годину та хвилину показники в нормі (змінюється сигнал з «безпечно» на «продовження нагляду»).

Ні, якщо тепловізор згідно заданих теплових параметрів в мікроконтролер побачив різке підвищення температури (змінюється сигнал з «безпечно на «тривога»)- поріг активації.

Температура була змінена з «безпечно» на «тривога»:

Якщо тепловізор замітив зміну теплових показників згідно завантажених до мікроконтролера, або температура за хвилину підскочила дуже високо, то система замітив де саме це зроблено, то з урахуванням того, що показник не в нормі, система посилає сигнал «тривога» до оператора на пожежний пункт.

Продовження нагляду після подачі сигналу «тривога»:

Після того як сигнал був відданий до пожежної частини, тепловізор продовжує нагляд у звичному режимі (але посилає інформацію згідно зафіксованої температури 100 і більше градусів кожної хвилини настільки, наскільки вистачить ресурсу самого тепловізора.

4.5 Електрична принципова схема АТВС

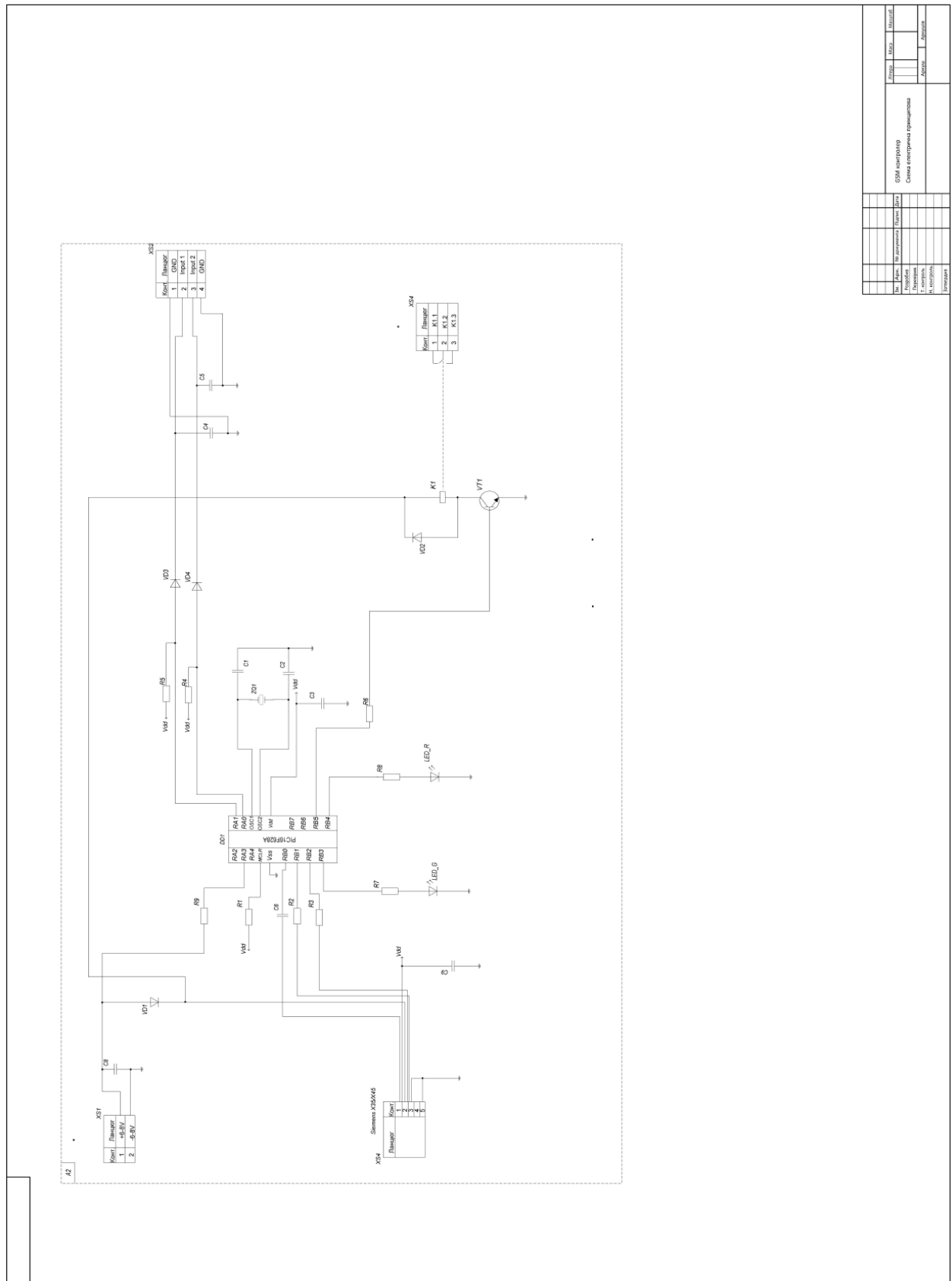


Рис. 4.3 – Електрична принципова схема

4.6 Печатна плата АТВС

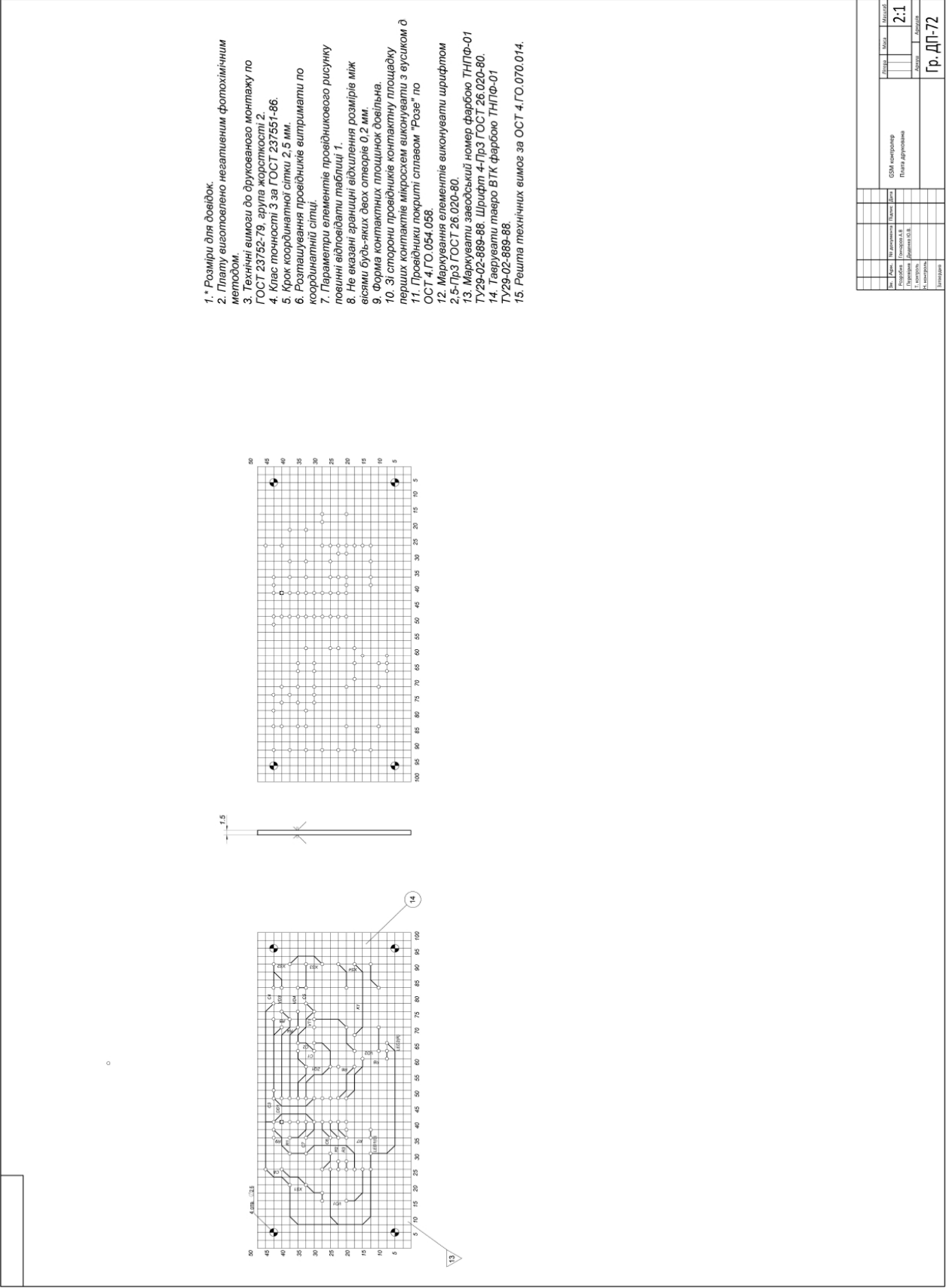


Рис. 4.4 – Печатна плата схеми

4.7 Складальне креслення АТВС

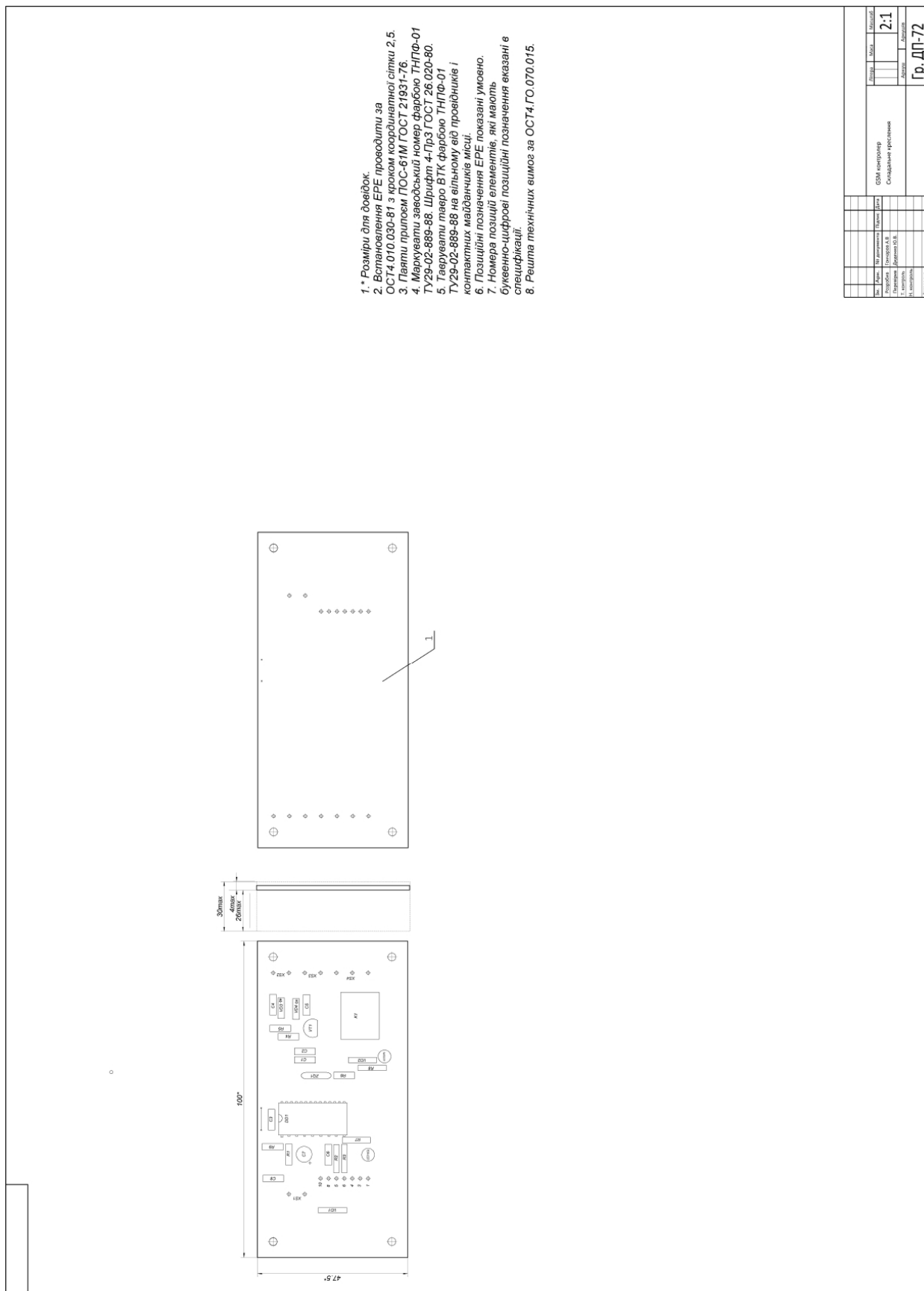


Рис. 4.5 – Складальне креслення схеми

4.8 Таблиця радіоелементів плати та опис її роботи

Таблиця 4.1 – радіоелементи плати

Позначення	Тип	Номінал	Кількість
DD1	МК PIC 8-біт	PIC16F628A	1
VT1	біполярний транзистор	KT815A	1
VD1, VD2	випрямний діод	1N4007	2
VD3, VD4	випрямний діод	1N4148	2
C1, C2	конденсатор	25 пФ	1
C3-C5, C8	конденсатор	0.1 мкФ	4
C6	конденсатор	360 пФ	1
C7	електролітичний конденсатор	220 мкФ	1
R1, R4, R5	резистор	4.7 кОм	3
R2, R3	резистор	150 Ом	2
R6	резистор	1 кОм	1
R7, R8	резистор	510 Ом	2

В даний час дуже велику популярність отримав тепловізійний контроль. Який ідеально підходить для безбекового контролю або пожежної безпеки будь-яких віддалених об'єктів (гаражі, склади, дачі, кіоски, жилі приміщення та ін.). Все, що необхідно для роботи аналітичної тепло візуальної системи (надалі АТВС) - це, наявність електричної енергії, і досить стійкий зв'язок з платою. АТВС в загальному випадку являє собою деякий блок (мікроконтролер), до якого підключається один або декілька тепловізорів.

Крім того, до мікроконтролера підключається зовнішнє джерело живлення. Принцип дії АТВС полягає в отриманні та обробці даних з

встановлених на об'єкті тепловізорів контролером, і в разі фіксування миттєвого скачка температури вище задано допустимих значень, мікроконтролер здійснює подачу сигналу на пожежний пункт.

Оснoву мікроконтролера становить мікроконтролер PIC16F628A. Схема не містить дорогих і важкодоступних компонентів.

До XS1 підключається зовнішнє живлення, яке повинно забезпечувати напругу 6 - 8 вольт при струмі навантаження не менше 300 мА. Можна використовувати трансформаторно зарядний пристрій телефона. Сам контролер живиться від акумуляторної батареї (навіть можна використовувати мобільну). Тому, короточасні перебої електроенергії (в середньому до 2 днів) на роботу мікроконтролера не впливають. Чим вище якість акумуляторної батареї, тим довше мікроконтролер і ситема в цілому здатна зберігати свою працездатність при пропажі зовнішнього живлення.

мікроконтролер має два незалежні входи для підключення тепловізора. До XS2 і XS3 підключаються тепловізори з нормально замкнутими або нормально розімкнутими контактами.

Слід зазначити, що на один вхід можна підключити відразу декілька тепловізорів.

Висновки до розділу 4.

Дана аналітично тепловізуальна система вигідно відрізняється тим, що контролер не має ніяких кнопок і перемикачів, а все налаштування відбувається одразу після монтажу системи (завантаження до пам'яті контролеру теплових даних). Після чого відбувається старт, і система починає штатно працювати.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу сучасного стану розвитку тепловізійних систем визначено основні принципи побудови аналітичної тепловізуальної системи.

Визначено алгоритм роботи та складено блок-схему аналітичної тепловізуальної системи, в якій реалізовано режим автоматичного встановлення початкових фонових даних без втручання оператора.

Розроблено електричну принципову схему системи на основі мікроконтролера PIC16F628A, який дає змогу здешевшати вартість системи. Завдяки його характеристикам [19]:

- Режим енергозбереження SLEEP
- Програмовані підтягуючі резистори на входах PORTB
- Сторожовий таймер WDT з окремим генератором
- Режим низьковольтного програмування
- Захист коду програми
- Скидання по зниженню напруги живлення BOR
- Скидання по включенню живлення POR
- Таймер включення живлення PWRT і таймер запуску генератора

OST

- Широкий діапазон напруги живлення від 2.0В до 5.5В
- Промисловий і розширений температурний діапазони
- 100 000 циклів стирання / запису FLASH пам'яті програм
- 1 000 000 циклів стирання / запису EEPROM пам'яті даних
- Період зберігання даних FLASH / EEPROM пам'яті > 100 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Глазом тепловизора». Голицын А.А. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/vhzp>.
2. «ТЕПЛОВИЗИОННАЯ БИМЕДИЦИНСКАЯ ДИАГНОСТИКА», Скрипаль А.В., Сагайдачный А.А., Усанов Д.А. 19-26 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/viax>.
3. *Ллойд Дж.* Системы тепловидения. / Пер. с англ. под ред. Горячева А.И. М.: Мир, 1978. 416 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfe>.
4. *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение. М.: Мир, 1988. 416 с. . [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfg>.
5. «Технические науки» / Терехин С.Н., Триш А.А., Сальников А.В. статья «Повышение эффективности управления звеньями газодымозащитной службы при тушении пожаров на потенциально опасных промышленных объектах». [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/uhzq>.
6. *Ллойд Дж.* Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 414 стр. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfe>.
7. *Хадсон Р.* Инфракрасные системы, М.: Мир, 1972. 535 стр. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfj>.
8. *Формозов Б.Н.* Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах, СПбГУАП., СПб., 2002, 120 стр. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfl>.
9. *Никитин С.* Тепловизоры: не все так просто. журнал «Алгоритм безопасности». № 3, 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfn>.
10. Коробицын П.В. «СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНО - ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОРУ 330/110 КВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ

АТОМНОЙ СТАНЦИИ», [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/uiiba>.

11. Lawson R.N. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer. *Canad Med Assoc J* 1956; 4 (75): 309–310. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfv>.

12. Дехтярев Ю.П., Нечипорук В.И., Мироненко С.А., Венгер Е.Ф., Дунаевский В.И., Котовский В.И., Соловьев Е. Применение дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний и последствий травм у спортсменов. *Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»* 2009; 1: 220–223. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfw>.

13. Lahiri B.B., Bagavathiappan S., Jayakumar T., Philip J. Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared Phys Technol* 2012; 55: 221–235. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfx>.

14. «Оптика», статья: «РАСЧЕТ ОБЪЕКТИВА МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕПЛОВИЗОРА», Н.Н. Кулакова, С.В. Мишин. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/uide>.

15. Бодров С.В. Методика расчета тепловизионного объектива // *Электронный научно-технический журнал “Наука и образование”*. 2012. № 6. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfz>.

16. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение; пер. с франц. М.: Мир, 1988. 452 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlfg>.

17. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы “смотрящего” типа. М.: Логос, 2004. 452 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/wlge>.

18. Температурный режим пожара в помещении, раздел 2.2. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/uidw>.

19. Сайт продажи компонентов. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/vijk>.