

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Система дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів –  
програмна частина

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-19-1  
Сухов В.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність  
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та  
робототехнічні системи

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцПисьменецький В.О.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2020

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та роботехнічні системи код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

### ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Сухову Владиславу Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система дистанційного аналізу теплових властивостей  
технічних об'єктів – програмна частина

затверджена наказом по університету від 07.11.2020 р. № 1509 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15.12. 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Камера для Raspberry Pi 4В, модуль Raspberry Pi 4В,  
персональний комп'ютер, доступ до мережі Internet

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ.

4.2 Аналіз засобів дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів.

4.3 Програмні технології аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.

4.4 Розробка програмного забезпечення для дистанційного аналізу теплових  
властивостей технічних об'єктів.

4.5 Висновки.

4.6 Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційні матеріали, представлені у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 6 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз вихідних даних за темою атестаційної роботи	10.09.2020	Виконано
2	Постановка мети та задач дослідження	20.10.2020	Виконано
3	Вибір мови програмування та розробка алгоритму	30.10.2020	Виконано
4	Розробка програмного засобу для вирішення завдання	01.11.2020	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації	18.11.2020	Виконано
6	Подання атестаційної роботи до екзаменаційної комісії	15.12.2020	Виконано

Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Студент

(підпис)

Сухов В.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Письменецький В.О.

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 73с., 0 табл., 24 рис., 3дод., 18джерел.

### СИСТЕМА ТЕПЛОВОГО ВИМІРЮВАННЯ, ОБРОБКА ТЕПЛОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Мета атестаційної роботи – розробка програмного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Об'єкт дослідження – процес дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.

Предмет дослідження – підвищення ефективності системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Новизна дослідження полягає у розробці удосконалених програмних засобів, які дозволяють аналізувати температуру технічних об'єктів на основі зображень, отриманих за допомогою інфрачервоної камери.

В магістерській атестаційній роботі досліджено процес аналізу теплових властивостей об'єктів. Для цього було проведено аналіз існуючих засобів теплового аналізу.

Була розроблена програма аналізу теплових властивостей об'єктів, при цьому програма здатна виявляти що за об'єкт знаходиться у робочій зоні камери.

Для визначення трудомісткості роботи було проведено необхідні розрахунки, що наведені у розділі охорони праці.

Результати магістерської атестаційної роботи було апробовано у доповіді на спеціалізованій конференції.

## ABSTRACT

An explanatory note is made by: 73pp., 0 tabl., 24fig., 3add., 18 sources.

### THERMAL MEASUREMENT SYSTEM, HEAT IMAGE PROCESSING

The purpose of certification work – the development of software for remote analysis of thermal properties of objects.

The object of research is the process of remote analysis of thermal properties of technical objects.

The subject of research is to increase the efficiency of the system of remote analysis of thermal properties of objects.

The novelty of the study is the development of advanced software that allows you to analyze the temperature of technical objects based on images obtained with an infrared camera.

In the master's certification work the process of analysis of thermal properties of objects is investigated. To do this, an analysis of existing means of thermal analysis was performed.

A program for analyzing the thermal properties of objects has been developed, and the program is able to detect what kind of object is in the working area of the camera.

To determine the complexity of the work, the necessary calculations were performed, which are given in the section of labor protection.

The results of the master's certification work were tested in a report at a specialized conference.

## ЗМІСТ

	с.
Скорочення та умовні позначки .....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз засобів дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів ....	9
1.1 Сфери застосування засобів дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів .....	9
1.2 Апаратні засоби дистанційного вимірювання температури.....	16
1.3 Програмні засоби аналізу теплових властивостей об'єктів .....	22
1.4 Висновки до першого розділу.....	25
2 Програмні технології аналізу теплових властивостей технічних об'єктів ..	27
2.1 Технології тепловізійних систем.....	27
2.2 Технологія OpenCV та її використання у тепловізійних системах..	39
2.3 Висновки до другого розділу .....	40
3 Розробка програмного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів .....	41
3.1 Розробка алгоритмічного забезпечення (розробка алгоритмів).....	41
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	44
3.3 Тестування програмного забезпечення.....	48
3.4 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.....	54
3.5 Висновки до третього розділу .....	57
Висновки .....	59
Перелік джерел посилання .....	61
Додаток А Текст програми.....	64
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	67
Додаток В Відомість атестаційної роботи.....	73

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПЗ – програмне забезпечення.

БД – база даних.

## ВСТУП

На сьогоднішній день є багато робочих зон за великою температурою які є небезпечним місцем для людини. Також не меншу небезпеку являє собою об'єкти продукції які на етапі виробництва проходять термічні обробки високої температури. Люди вже знають у яких приміщеннях яка може бути температура але, не можна не включати факт помилки на виробництві або несправності пристрою для регулювання температури. Також в дослідницьких центрах, де проводять експерименти ця загроза може проявитися раптово і не факт що можна буде захиститися від неї вчасно. Для того що б виникнути даних випадків була придумана система дистанційного контролю теплових властивостей об'єкта.

Дана система дозволяє оцінювати теплове властивість об'єкта і направити робочий персонал в безпечну зону. З якої вони можуть оцінити теплове властивість об'єкта і вже оцінити чи є зона безпечною. Але також система здатна оцінити теплове властивість одного об'єкта. Стежити за ним і повідомити якщо є якісь відхилення від температури. Також система має мобільність що дозволяє їй переміщатись по виробництву і оцінювати теплові властивості певних об'єктів.

Є багато галузей робіт де важлива температура об'єкта який знаходиться в експлуатації або є продуктом для якого критична температура при виробництві. Це може буди завод металургії у якому потрібно слідкувати за чаном з розплавленим металом або при будівництві теплових мереж у будинку тощо.

Мета атестаційної роботи – розробка програмного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Об'єкт дослідження – процес дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.

Предмет дослідження – підвищення ефективності системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Новизна дослідження полягає у розробці удосконалених програмних засобів, які дозволяють аналізувати температуру технічних об'єктів на основі зображень, отриманих за допомогою інфрачервоної камери.

Актуальність данної роботи підтверджується тим що подібні системи коштують багато та не є ефективними в експлуатації. Також подібні системи зазвичай займають дуже багато місця. А данна система може виконувати багато функцій і в одночас не займати багато місця на робочому комп'ютері користувача.

Задачі, що планується виконати в роботі:

–провести аналіз систем дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів;

–розглянути системи які здатні вимірювати теплові властивості об'єктів дистанційно;

–знайти оптимальні рішення для розробки програмного забезпечення для системи дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів;

–побудувати алгоритм дій програмного забезпечення;

–розробити програмну реалізацію системи дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів;

–провести тестування для корекції роботи програмного забезпечення та виявлення недоліків роботи програми;

–оформити атестаційну роботу відповідно ДСТУ 3008:2015 [1], навчального посібника з дипломного проектування [2], методичних вказівок до випускної кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» [3] та положення про протидію академічному плагіату [4].

# 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Сфери застосування засобів дистанційного контролю теплових властивостей об'єктів

Сфер застосування засобів дистанційного контролю теплових властивостей багато. Вони використовуються для охоронних мір, для виявлення пожежі, у будівельному ремеслу, у медичних цілях. В основному використовують такі прилади як тепловізори які здатні виявляти температуру об'єкта та виводити інформацію на дисплей.

Спочатку технологія бачення тепла розроблялася далеко не для мирних цілей. Як і більшість інших сучасних технологій, першими її придбали саме військові, в цьому вони стали використовуватися і для полювання, тепловізор це прекрасна заміна камерам нічного бачення. Завдяки тепловізорам туристичний табір може бути вчасно поінформований про наближення непроханого гостя з лісу. При пересуванні в темний час доби, особливо в горах, прилад послужить вам «ниткою Аріадни».

Перші тепловізори (як показано на рис. 1.1) були дорогими і громіздкими, а встановлювалися вони тільки на важку броньовану техніку або гвинтокрилі літальні апарати. Потім, в ході наукових експериментів, ці прилади вдалося значно полегшити і зменшити в розмірах. Так з'явилися приціли для снайперських гвинтівок, що дозволяють бачити ворога навіть у повній темряві. І лише відносно недавно, у вільному продажі з'явилися здешевлені аналоги військових теплових прицілів, які можна купити і використовувати, скажімо, для нічного полювання. За великим рахунком, різниця між військовим і мисливським тепловим прицілом полягає в часі автономної роботи і матрицею[5].



Рисунок 1.1 – Перший тепловізор

Військові застосовують для електроживлення своїх тепловізорів мікрореактори, що працюють на незбагаченому атомному паливі, які дозволяють бачити тепло цілими місяцями без підзарядок (як показано на рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Військовий тепловізор

На сьогоднішній день тепловізори є оптимальним інструментом неруйнівного теплового контролю в самих різних галузях промисловості. Основні сфери застосування промислових тепловізорів це теплової аудит об'єктів будівництва, пошук несправності електромереж, моніторинг виробничих процесів та інші випадки, коли по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів.

Використання тепловізорів дає можливість виявити потенційно проблемні ділянки для проведення превентивного обслуговування, значно скорочуючи подальші витрати по експлуатації [5].

Охоронні тепловізори не вимірюються температуру об'єктів, у них інші завдання. Охоронний тепловізор повинен давати чіткі зображення порушника на великих відстанях при максимальному робочому діапазоні температур, щоб виключити помилкові спрацьовування охоронних систем (як показано на рис. 1.3). Звертайте увагу на дозвіл матриці тепловізора, чим вона більша, тим чіткіше картинка, але і дорожче сам тепловізор.



Рисунок 1.3 – Охоронна камера с тепловізійною системою

Обстеження тепловізором будівель і споруд дозволяє виявити виток тепла в будинку, в енергетиці - знайти причини несправностей електрообладнання. Для ІК діагностики в будівництві та енергетиці оптимальним вибором будуть камери з роздільною здатністю матриці від 320 пікселів на 240 пікселів і функцією цифрового збільшення зображення, яка дозволяє побачити більше деталей і створювати термограми з роздільною здатністю 640 пікселів на 480 пікселів і 1024 пікселів на 768 пікселів. В умовах суворого клімату важливим параметром є діапазон робочих температур навколишнього середовища, оскільки обстеження будівельних об'єктів частіше проводять в зимовий період, коли різниця температур в приміщенні і на вулиці максимальна. Дуже часто температурні неоднорідності занадто малі, величиною в кілька градусів, саме тому опалювальний сезон - це ідеальний час для обстеження будівель. Чим більше перепад температур, тим простіше виявити втрати енергії. Перепад температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям при тепловізійному обстеженні будівель повинен бути не менше  $10^{\circ}\text{C}$  -  $15^{\circ}\text{C}$ . Чим вище перепад

температур, тим точніше результати обстеження. Ідеальні умови для тепловізійного обстеження - це ясний безвітряний вечір, температура в приміщенні + 25С, а зовнішня температура -10С або нижче. Якщо плануєте обстежити будинок або комерційний об'єкт в теплу пору року, коли перепад температур мінімальний, рекомендуємо використовувати двері з тепловим блокуванням для створення додаткового теплового напору [5]. За даними міністерства енергетики, усунення дефектів, виявлених під час обстеження огорожувальних конструкцій будівель може скоротити енергетичні витрати мінімум на 15%.

За допомогою тепловізора можна виявити неполадки в системах електропостачання, в електрообладнанні - перевірити якість контакту в вузлових з'єднаннях, стан термоізоляції і захисних покриттів електричної проводки (як показано на рис. 1.4). У системах тепlopостачання можна виробляти діагностику - димових труб, теплообмінників, радіаторів і їх теплоізоляції.



Рисунок 1.4 – Тепловізор при обстеженні будівель

Крім тепловізорів в енергетичному обстеженні використовуються і інші види вимірювальних приладів. Наприклад - аналізатори якості

електроенергії, струмові кліщі, мультиметри, мегаметри, вимірювачі опору і заземлення, вимірювачі параметрів навколишнього середовища, лазерні далекоміри і інші прилади. Завдяки міцним корпусам і захищеним дисплеям, ці прилади зможуть працювати навіть в суворих природних умовах, деякі моделі вологонепроникні і в ударопрочном виконанні (пожежні і мисливські). Деякі моделі тепловізорів застосовуються для контролю об'єктів електроенергетики. Перегрів електродвигунів, трансформаторів, силових ліній, витоку газу, різні випаровування - все це буде видно на екрані приладу як на долоні. Контроль при повному навантаженні робочих параметрів дає можливість завчасно виявити дефекти, поки вони не привели до більш тяжких наслідків [5].

У будівництві одним з основних напрямків теплового контролю є загальний енергоаудит будівель і споруд з метою оптимізації витрат на енергію. Проведення інспекції будівлі з подальшим аналізом його особливостей і даних про витрату енергії дозволяє визначати оптимальні способи зниження енерговитрат. Використання тепловізора для контролю будівельних об'єктів має ряд переваг, одним з яких є можливість розпізнати причини втрат тепла, оцінити їх масштаби, і вжити заходів по їх скороченню.

На об'єктах будівництва тепловізор дозволяє виявити різні дефекти цегляної кладки і огорожувальних конструкцій, які є причиною витоку тепла. Термічно слабкі ділянки конструкцій. проявляють себе через так звані теплові містки які тепловізор чітко реєструє. Отримана в результаті контролю термограма може служити доказом виробничого браку або неякісного проектування.

Серед дефектів огорожувальних конструкцій, що збільшують тепловтрати, одними з найпоширеніших є проблема з вікнами. Дефекти віконних конструкцій можуть стати причиною підвищеного шуму, протягів, запотівання і вогкості. Висока чутливість сучасних тепловізорів дозволяє виявити навіть мінімальні перепади температури, визначаючи місця наявних дефектів для їх подальшого ремонту.

Ще одним напрямком будівельної термографії є тепловізійний контроль систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Тут частими причинами енерговитрат можуть бути помилки проекту, порушення правил експлуатації, складування і перевезення. Даючи можливість виявити ділянки з аномальним розподілом температури, результати теплового контролю дозволяють судити про правильність монтажу і налагодження інженерних комунікацій.

Серед інших напрямків тепловізійного контролю в будівництві, можна виділити, пошук місць проникнення вологи, пошук трубопроводів гарячої та холодної води і місць їх розривів.

У промисловому виробництві основною метою теплового неруйнівного контролю є виявлення дефектів обладнання на їх ранній стадії. Аномальний нагрів, механічних компонентів, часто може вказувати на надмірне навантаження, і ризик виходу системи з ладу. Використання промислових тепловізорів дає можливість виявити проблемні ділянки для їх превентивного обслуговування, значно скорочуючи подальші витрати по експлуатації [5].

Сучасні тепловізори застосовуються в самих різних галузях промислового виробництва. Серед найбільш поширених напрямків теплового контролю можна виділити превентивну діагностику промислового обладнання, контроль заповнення резервуарів, пошук несправності електромереж, моніторинг сонячних батарей, аналіз критичних температур на друкованих платах і інші випадки, коли отримана термограма дає можливість судити про технічний стан контрольованих об'єктів.

До типових об'єктів тепловізійного контролю в промисловому виробництві можна віднести верстати, конвеєри, турбіни, компресори, насоси, генератори, ДВС, системи нагрівання та охолодження, різне гідравлічне обладнання. В роботі підприємств енергетичного сектора, основними напрямками теплового контролю є пошук перегрітих ділянок електромереж, димових труб, парових та водогрійних котлів. Тепловізори також часто застосовуються для пошуку несправностей в теплоізоляції

трубопроводів і турбін, визначення місць підсмоктування холодного повітря, для перевірки ефективності роботи систем охолодження трансформаторів, двигунів, ліній електропередач та іншого обладнання.

До типових об'єктів тепловізійного контролю в сфері енергетики можна віднести всілякі конденсатори, рубильники, розподільні щити, місця контактних з'єднань електропроводки, трансформатори, генератори, батареї, бойлери, парові системи та інше обладнання.

Окремим напрямком тепловізійного контролю в енергетиці, є моніторинг сонячних енергосистем, який проводиться для забезпечення безпеки і аналізу експлуатаційних показників. В сучасних тепловізорах передбачена можливість введення показника інтенсивності сонячного випромінювання, яке зберігається разом з тепловими знімками в надалі може бути використано для аналізу результатів контролю[5].

## 1.2 Апаратні засоби дистанційного вимірювання температури

Апаратні засоби дистанційного вимірювання температури це такі засоби які не потребують ПО для вимірювання температури але не можуть бути точними. Адже на їх вимірювання може впливати багато факторів.

Одним з апаратних засобів є термометр – прилад для вимірювання температури повітря, ґрунту і різних тіл. Існує кілька видів термометрів:

– рідинні – засновані на принципі зміни об'єму рідини, яка залита в термометр (зазвичай це спирт або ртуть), при зміні температури навколишнього середовища (як показано на рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Приклад рідинного термометра

– механічні – діють за тим же принципом, що і рідинні, але в якості датчика зазвичай використовується металева спіраль або пластина (як показано на рис. 1.6);

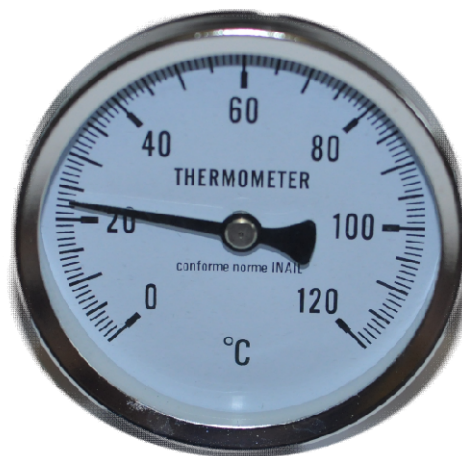


Рисунок 1.6 – Приклад механічного термометра

– електронні – принцип роботи електронних термометрів заснований на зміні опору провідника при зміні температури навколишнього середовища (як показано на рис. 1.7);



Рисунок 1.7 – Приклад електронного термометра

– оптичні – вимірюють потужність теплового випромінювання об'єкта. Інфрачервоний сенсор знаходиться всередині пирометра сприймає випромінювання і передає аналоговий сигнал на електронну схему. Сигнал оцифровується, і на його основі виробляються обчислення результату, який виводиться на РК-дисплей (як показано на рис. 1.8). Інфрачервоні вимірювачі температури тіла дозволяють вимірювати температуру без безпосереднього контакту з людиною;

– газові – містять в собі посудину, заповнений певним обсягом газу. Під час нагрівання газ розширюється і рухає стрілку, яка відображає температуру на градуйованій шкалі(як показано на рис. 1.9).



Рисунок 1.8 – Приклад оптического термометра



Рисунок 1.9 – Приклад газового термометра

У зв'язку з поширенням по планеті вірусу COVID-19, на сьогоднішній день, найбільш актуальним є питання вимірювання температури тіла людини.

Найпоширенішим і дешевим термометром для вимірювання температури тіла в домашніх і лікарняних умовах, був і залишається ртутний термометр.

Переваги ртутного термометра:

- точність вимірювання – похибка становить всього 0,1 градуса;
- довговічність - служить десятки років, якщо його не упускати;
- легкість очищення і дезінфекції;
- невисока ціна.

Але є і негативні сторони використання ртутного приладу:

- високий ризик розбити при падінні: дрібними осколками скла можна порізатися, а пари ртуті небезпечні для здоров'я;
- тривалість вимірювання: потрібно близько 10 хвилин для отримання точного показника.

Більш сучасним аналогом ртутного термометра вважається електронний градусник. Замір проводиться за рахунок дії вбудованих датчиків в корпусі, а результат термометрії виводиться на невеликий екран, що дуже зручно.

Залежно від моделі можуть бути різні додаткові функції: звуковий сигнал, який свідчить про кінець вимірювання, водонепроникність і т.д. Але головним плюсом такого градусника є його безпеку: можна спокійно давати дитині і не боятися того, що градусник розіб'ється. Тривалість вимірювання набагато менше, ніж у попередника—достатньо однієї хвилини для отримання результату.

Але навіть у електронних термометрів є недоліки:

- для правильного використання потрібно попередньо вивчити інструкцію, а це роблять далеко не всі;
- електронні термометри мають меншу точність;

- прилад функціонує за рахунок батарейок, а сісти вони можуть в будь-який момент, навіть коли купити їх не представляється можливим;

- більш висока вартість залежно від набору функцій і виробника.

Самим просунутим, швидким і зручним в експлуатації термометром, в умовах контролю захворюваності великої кількості людей, є пірометр.

Пірометр–безконтактний термометр. Прилад вимірює температуру об'єкта на відстані і виводить дані на екран. Більшість сучасних пірометрів фіксує випромінювання тепла від предмета в інфрачервоному діапазоні. Також існують пірометри, які вимірюють теплове випромінювання в видимому діапазоні світла.

Пірометри ділять на дві групи. У першій – прилади, які виводять на дисплей температуру в градусах. Вони користуються найбільшим попитом.

У другій групі прилади з графічним висновком. Вони відображають об'єкт у вигляді теплової карти, на якій області з різною температурою відзначені різними кольорами. За таким принципом працюють тепловізори.

Плюси портативного пірометра:

- дозволяє швидко і без безпосереднього контакту виміряти температуру тіла;

- легке вимірювання температури.

До мінусів можна віднести наступне:

- пірометри коректно працюють тільки при нормальних умовах, показання приладу не можна вважати достовірними, якщо температура вимірюється під час дощу, снігу, туману, запиленості або задимленості;

- необхідність заміни батарейок, або підзарядки акумулятора;

Так як більшість пірометрів схожі за своїми функціями і органам управління, розглянемо принцип їх роботи на прикладі інфрачервоного пірометра TOPMED NC-178.

Від усіх об'єктів, твердих, рідких або газоподібних виходить ІК-випромінювання. Інтенсивність випромінювання залежить від температури об'єкта.

Термометр NC-178 здатний вимірювати температуру тіла людини по ІК-випромінювання. Точне вимірювання проводиться завдяки вбудованому в пристрій температурному датчику, який постійно аналізує та реєструє температуру навколишнього середовища. Таким чином, як тільки оператор підносить пірометр до людини і активує датчик вимірювання, прилад відразу проводить оцінку ІК-випромінювання, що виходить від артеріального кровотоку. Отже, температура тіла може бути виміряна без впливу температури навколишнього середовища.

Термометр NC-178 розроблений для проведення миттєвого вимірювання температури тіла безконтактним методом (рекомендується вимірювати температуру на лобі в області скроневої артерії). Оскільки скроневаартерія розташовується досить близько до поверхні шкіри, є доступною і має постійний і рівномірний кровотік, вимір температури виходить точним. Ця артерія з'єднується з серцем через сонну артерію, яка безпосередньо пов'язана з аортою[6].

Так формується частина головного каналу артеріальної системи. Ефективність, швидкість і комфорт вимірювання температури в даній області робить цей метод ідеальним в порівнянні з іншими методами вимірювання температури.

### 1.3 Програмні засоби аналізу теплових властивостей об'єктів

На жаль на сьогоднішній день є мало програмних засобів аналізу теплових властивостей об'єктів. Один з найпоширеніших програмних продуктів є BETASoft від компанії Dynamic Soft Analysis.

Програма BETASoft підходить і для розробників монолітних багатомодульних пристроїв. У процесі розрахунку можуть бути отримані температури окремих компонентів, карти прогріву плат, градієнт температур. Відзначимо, що програма BETASoft, що має в своєму складі три модуля:

BETASoft-Board, BETASoft-MCM, BETASoft-System, поставляється як штатний засіб теплового моделювання для продуктів Mentor Graphics.

Модуль BETASoft-Board призначений для моделювання теплових процесів в багатошарових платах нерегулярної форми, які можуть бути розташовані в відкритих або закритих корпусах, при цьому враховуються наявність природної і примусової вентиляції, а також, при необхідності, гравітація і атмосферний тиск. Модуль використовує вбудовані бібліотеки, що налічують близько 2500 різних компонентів. При аналізі плат з великим числом компонентів можливий імпорт проектів, розроблених в популярних САПР P-CAD, Allegro, Cadstar, Mentor, Protel, OrCAD, PADS, Tango, VeriBest і ін.

Програма BETASoft-Board дозволяє розраховувати середню температуру корпусу елемента і карту температурних градієнтів, (як показано на рис. 1.10) а додатковий модуль TNETAjс дає можливість визначати температуру окремих р-п-переходів, завдяки чому можна визначати ступінь нагріву окремих елементів, а також близькість температури їх корпусів до гранично допустимих значень.

Не виключено, що внаслідок температурного розширення області плати з підвищеною температурою будуть піддаватися різним деформації, спучуватися і жолобитися. При багаторазовому нагріванні і охолодженні це може привести до виходу з ладу як самої плати, так і розташованих на ній елементів, відшарування друкованих провідників і порушення контактів, особливо в проектах, виконаних за технологією поверхневого монтажу. Своєчасна ідентифікація таких областей дозволить уникнути руйнівних наслідків в ході випробувань і експлуатації готових виробів.

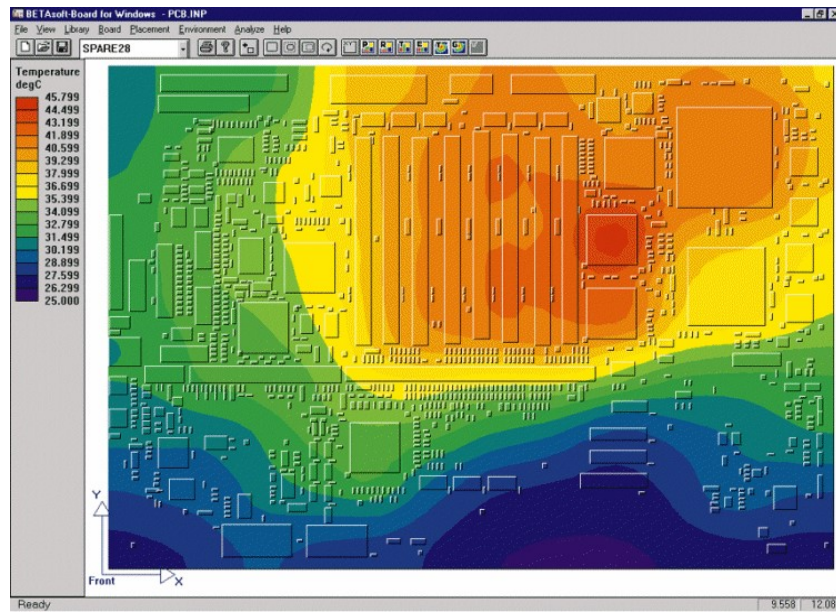


Рисунок 1.10 – Приклад роботи програми BETASoft-Board

Отримані результати розрахунку з точністю до 10% були підтверджені в ході спеціальних випробувань, а також за допомогою фотозйомки в інфрачервоному режимі. У процесі аналізу виконується тривимірне моделювання сумарного поля течії і окремих теплових областей з урахуванням теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання.

На сучасному етапі наукових досліджень обчислювальний експеримент є одним з важливих напрямків при вивченні задач аеродинаміки, теплообміну і горіння. Інформація, отримана за допомогою чисельних розрахунків, дозволяє не тільки правильно осмислити і зрозуміти фізичні ефекти, які спостерігаються, наприклад, на експериментальних установках, а й в деяких випадках замінити фізичний або натуральний експеримент комп'ютерним як дешевшим.

Іноді комп'ютерний експеримент є єдино можливим. З огляду на подальший прогрес в області розвитку обчислювальної техніки, можна очікувати, що в найближчому майбутньому зросте роль комп'ютерного моделювання як в створенні нових зразків промисловості, так і в дослідженні процесів і явищ, що відбуваються в навколишньому світі.

Розробкою методів розрахунку і особливо створенням програм і пакетів прикладних програм для вирішення науково-технічних завдань зайнята велика кількість дослідників. З огляду на розмаїття завдань при створенні програм навіть по одному алгоритму або чисельному методу неминучий паралелізм в роботі, коли різні дослідники при створенні програм змушені проробляти всю роботу від початку до кінця.

Простий аналіз показує, що у різних створених програм є загальні частини, які доцільно одноразово запрограмувати і надалі багаторазово використовувати. З іншого боку, розширення класу задач вимагає створення великого числа програм одноразового (несерійного) використання. Це обумовлює невиправдані витрати ресурсів (розумових, комп'ютерних) на створення та налагодження програм.

Крім того, сповільнюється і сам процес досліджень. Дані обставини призводять до необхідності переходу на інший шлях створення програм, а саме на створення пакетів програм, орієнтованих на рішення цілих класів задач. Зараз створені й успішно розвиваються пакети програм для вирішення окремих класів задач математичної фізики [7].

В даний час широкого поширення набули пакети обчислювальної гідродинаміки, теплообмена, міцності і електродинаміки для проведення інженерних розрахунків. Серед них можна згадати такі, як CFX, FLUENT, STAR-CD, LS-DYNA, ANSYS, ABAQUS, FlowVision, MSC / NASTRAN, MSC / MARC, MAGMASOFT, SolidWorks та ін.

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В першому розділі даної роботи було розглянуто сфери застосування систем дистанційного вимірювання температури такі як:

- будівництво;
- правоохоронна діяльність;
- медицина;

- наука;
- метеорологія;
- виробнича діяльність;

Були розглянуті аналогічні системи, зокрема наведена велика кількість аналогів, що використовуються в медицині. Було наведено фізичні принципи, що лежать в основі теплових властивостей та їх вимірюванні. Також було розглянуто програмні засоби аналізу теплових властивостей об'єктів. Було виявлено, що програмний продукт BETA Soft-Board являється найкращим для вимірювання теплових властивостей об'єктів. Але він був ціленаправлений тільки для друкованих плат. Це означає, що для масового вимірювання будь-яких об'єктів схожого винаходу або програмного продукту немає.

## 2 ПРОГРАМНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

### 2.1 Технології тепловізійних систем

Методи тепловізійного зображення передбачають розрізнення різних об'єктів на сцені на основі їх відповідної різниці температур. Закон випромінювання чорного тіла описує характеристики ІЧ-випромінювання, яке випромінює об'єкт із температурою вище абсолютного нуля. Важливо, що величина випромінювання (що називається опроміненням або випромінюванням) зростає із збільшенням температури. Отже, за умови, що детектор чутливий до інфрачервоного світла, можна візуалізувати навколишнє середовище на основі змін температури. Здатність створювати зображення (або термограму) на основі ІЧ-випромінювання називається термографією. Термограми розрізняють тепліші об'єкти переднього плану та їх прохолодніші фони, такі як візуалізація теплокровних тварин або людей. Тепловізійні камери дозволяють розрізнити об'єкти без допомоги джерела освітлення, тим самим відрізняючи його від LiDAR. Тепловізування ідеально підходить для створення знімків вночі або за умови затемнення, наприклад, слабкого туману, дощу або диму. Наприклад, перспективні ІЧ-або FLIR-камери використовуються для забезпечення нічного бачення на військових та цивільних літаках або для використання в охороні та спостереженні. Камери FLIR зазвичай виявляють випромінювання в середньохвильовій ІЧ (MWIR, діапазон від 3 мкм до 5 мкм) та довгохвильовій ІЧ (LWIR, діапазон від 7,5 мкм до 14 мкм) частинах електромагнітного спектра. У поєднанні з додатковими камерами, які можуть виявляти VIS (діапазон від 0,4 мкм до 0,75 мкм), NIR (діапазон від 0,75 мкм до 1,1 мкм) або короткохвильове ІЧ (SWIR, від діапазон 1,1 мкм до 2,5 мкм), можливе мультиспектральне зображення. Зображення SWIR стає все більш популярним у багатьох галузях

промисловості, включаючи перевірку сонячних батарей та сільськогосподарської продукції, а також для боротьби з підробкою[8].

Тепловізування має давню історію в галузі оборони та аерокосмічної галузі, але комерційні та промислові застосування призвели до різкого збільшення його використання за останні кілька десятиліть. Цей ринок, що розвивається, керується та очолюється різними виробниками детекторів та камер, такими як FLIR (рис. 2.1), L3 Technologies, BAE Systems, Leonardo DRS, SCD та Sofradir. Ці компанії постійно вдосконалюють та зменшують витрати на тепловізійні компоненти та детектори, що призведе до подальшого зростання ринку. Основні сегменти ринку тепловізійних зображень узагальнені та описані нижче [8].



Рисунок 2.1 – Тепловізор компанії FLIR

Військові програми. Тепловізування має широкий спектр військових застосувань для експлуатації вночі, при зниженій видимості та для отримання цілей. Крім того, ці програми можуть охоплювати наземне,

повітряне та морське середовище. Приклади програм включають системи навігації та націлювання літаків, приціли теплової зброї, ручні та навісні зображення, системи управління вогнем для танків та точне наведення ракет. Системи тепловізійного зображення часто використовуються в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) або безпілотних літальних апаратах.

Безпека та перші відповіді. Недавнє посилення терористичної активності та асиметричної війни прискорило необхідність використання ІР-систем у системі внутрішньої безпеки, прикордонного контролю та правоохоронних органів. Ці системи використовуються для визначення периметрів безпеки в різних місцях, включаючи аеропорти, а також підземні та надземні залізничні станції. Правоохоронні органи використовують технологію для управління наглядовою діяльністю, пошуку та затримання підозрюваних, розслідування місць злочинів та проведення пошуково-рятувальних операцій [9]. Тепловізори допомогли революціонізувати пожежогасіння, дозволивши виявити людей, що потрапили в пастку, а також розташування основи пожежі.

Моніторинг та виявлення. Термографія корисна для контролю фізіологічних дій, включаючи виявлення лихоманки та захворювань. Це може забезпечити поліпшення догляду за пацієнтами, а також контроль на кордонах у разі контагіозного спалаху. Тепловізування є повсюдною для промислових застосувань, включаючи виявлення витоків газу, інспекцію будівель, прогнозне обслуговування та контроль процесів. "Розумні будівлі" використовують датчики теплової активності, щоб привнести інтелект у будівельні системи, наприклад, освітлення, опалення, кондиціонування, сигналізацію, що покращує ефективність, підвищує комфорт мешканців та оптимізує управління робочим простором. "Розумні міста" використовують тепловізори для забезпечення моніторингу в режимі реального часу транспортних систем, управління дорожнім рухом та електромереж з метою покращення якості життя та оптимізації функцій міста. Ринок автомобільних камер керується новою тенденцією розвитку автономних автомобілів.

Теплові камери можуть зіграти ключову роль для розпізнавання пішоходів та попередження про перешкоди, особливо під час руху в повній темряві або в тунелях.

Мультиспектральна візуалізація. Мультиспектральна візуалізація поєднує від двох до п'яти спектральних смуг (VIS, NIR, SWIR, MWIR або LWIR) відносно великої смуги пропускання в єдину оптичну систему. Це може забезпечити розширену функціональність та розкрити деталі, що перевищують можливості односмугової системи виявлення. Досягнення компонентів візуалізації дозволило мультиспектральним візуалізаціям вийти за межі побудованих на замовлення систем для лабораторних та державних додатків до доступних, практичних комерційних систем. Програми варіюються від глибоких космічних зображень за допомогою космічних телескопів, повітряного спостереження, дистанційного зондування із супутниковим зондуванням до портативних візуалістів [9].

Детектори для тепловізійних зображень. Якість зображення, що створюється тепловізійною системою, залежить від її детектора та оптичних компонентів. Найважливішими параметрами для ІЧ-детекторів, що використовуються в тепловізійній зйомці, є чутливість, крок пікселів (відстань між пікселями) та формат (кількість пікселів). У поєднанні з оптикою зображення, крок та формат пікселів визначають просторову роздільну здатність та площу цілі, яку потрібно зобразити (детальніше див. Опис профайлерів на основі камери в розділі «Вимірювання профілю лазерного променя»). Як правило, ІЧ-детектори для тепловізійних камер набагато дорожчі, ніж аналоги спектру VIS [9]. Отже, широкоформатні детектори з піксельною площею 1024x768 зазвичай зустрічаються на камерах вищого класу.

Чутливість детектора зазвичай відноситься до мінімального виявляється сигналу, який дає значення SNR одиниці. Метрикою, що використовується для опису чутливості детектора, є нормалізована (або специфічна) детективність ( $D^*$ ). Це значення враховує вплив пропускну

здатності та області детектора і є інтуїтивним, оскільки більші значення представляють більшу чутливість. Опис нормалізованої детективності, а також типові значення для ІЧ-детекторів наведені в «Радіометричному вимірюванні». На додаток до чутливості детектора, кількість випромінювання, яке досягає детектора, в кінцевому рахунку визначає діапазон детектування тепловізійної системи. Інші фактори, що сприяють діапазону виявлення, включають цільові параметри, наприклад, розмір, температуру, коефіцієнт випромінювання - відношення випромінювання об'єкта до випромінюваного радіатором чорного тіла та пропускання атмосфери. На рис. 2.2 показано атмосферне пропускання як функцію довжини хвилі із зазначеними відповідними ІЧ-спектральними областями.

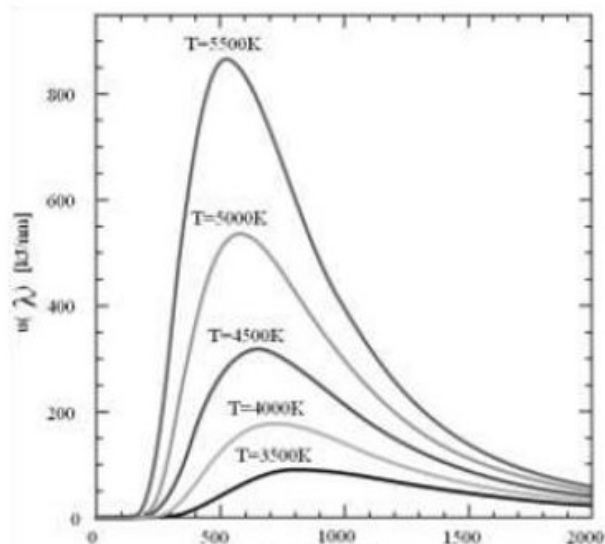


Рисунок 2.2 – Функція довжини хвилі

До датчиків, здатних виявляти ІЧ-випромінювання, належать термоелектричні елементи, піроелектрики, болометри та напівпровідникові фотодіоди з низькою смугою роздільної здатності (детальніше див. У розділі Фізика термопілетів та Піроелектрична фізика). У той час як для тепловізійних зображень використовуються масиви піроелектричних датчиків та мікроболометрів, використання фотодіодних решіток є більш

поширеним (див. Вимірювання профілю лазерного променя). Це пояснюється головним чином більшою детективністю для цих типів датчиків, а також зрілістю процесів виготовлення напівпровідників, які їх забезпечують. Оскільки ці масиви фокальної площини (FPA) виготовлені з фотодіодів, їх ІЧ-спектральна чутливість залежить від ширини смуги використовуваного напівпровідникового матеріалу. Найбільш поширені типи FPA створюються з використанням InSb, InGaAs, HgCdTe та фотодіодів на квантовій ямі. ІЧ-чутливі FPA є значно дорожчими, ніж FPA на основі Si, що призводить до того, що моделі вищого класу використовуються переважно у військових цілях. Крім того, виявлення в MWIR та LWIR часто вимагає криогенного охолодження для досягнення розумних рівнів детектування [10].

Оптичні компоненти для тепловізійних зображень. Оптичні компоненти відіграють найважливішу роль в тепловізіографії як з точки зору продуктивності, так і вартості. Зокрема, лінзи (як показано на рис. 2.3) є найбільш важливими компонентами для отримання зображень. Деякі широко вживані терміни, що стосуються тепловізійної оптики, включають ефективну фокусну відстань (EFL), поле зору (FOV), вхідну зіницю та  $F / \#$  (відношення EFL до діаметра вхідної зіниці).

Функція передачі модуляції (MTF) - вимірює здатність передавати (або відтворювати) модуляцію (або контраст) в об'єкті на зображення, утворене оптичним компонентом, це функція просторової частоти (або роздільної здатності).



Рисунок 2.3 – Оптичні лінзи

Як правило, основними характеристиками лінз або систем лінз є:

- пропускання – відношення переданого випромінювання щодо падаючого випромінювання;
- відносне освітлення – освітленість у будь-якій точці зображення щодо максимального освітлення по осі;
- спотворення – деформація зображення, спричинена зміною збільшення у FOV. Всі ці параметри є функцією конструкції оптичної лінзи.

Отже, дизайн лінз має вирішальне значення з точки зору досягнення бажаної якості зображення. Далі йдеться про те, як розроблена та виготовлена оптика тепловізійного зображення для задоволення вимог до продуктивності.

Типи та дизайн об'єктива. Існує багато типів лінз, що використовуються в тепловізійних системах. Види лінз, вибраних для конкретної системи, можуть залежати (серед іншого): від спектрального діапазону, що цікавить, наприклад, NIR, SWIR, MWIR або LWIR, кількості необхідних FOV (наприклад, одинарне, подвійне, безперервне збільшення), незалежно від того, чи повинні вони бути термальними (немає необхідності

перефокусуватись після зміни температури), та їх механізм фокусування, наприклад, фіксований, ручний або моторизований. Після встановлення системних вимог та розробки специфікацій лінз оптичний конструктор повинен надати оптичну конструкцію, яка відповідає вимогам специфікації. Крім того, дизайнер повинен усвідомлювати технологічність та вартість.

Етапи оптичного проектування включають наступне:

- встановлення базової геометрії;
- оптимізація продуктивності, придатності та вартості;
- побудова набору допусків;
- документальне оформлення та виконання.

Основним методом досягнення гарної оптичної конструкції є оптимізація, яка варіює числові параметри проектування для досягнення бажаного результату зображення, такого як щільний фокус або плоске поле. Параметри конструкції можуть бути великими внаслідок, наприклад, кількості задіяних лінз, їх форми або кривизни, оптичних матеріалів, що входять до складу лінз, наявності проміжного фокусу тощо.

Оптимізація базується на функції заслуг. Ця функція може включати терміни, що безпосередньо впливають на продуктивність зображення, наприклад, оптичні аберації. Він також може включати терміни для управління геометрією конструкції, такі як товщина елементів або відстань між ними. Оптичний конструктор налаштовує функцію достоїнств під час процесу оптимізації для досягнення цілей проекту, які включають продуктивність, розмір та вартість.

Для завершення оптимізації дизайнер повинен мати набір допусків на додаток до самої оптичної конструкції. Набір допусків може включати межі чутливості виробничого процесу, що використовується при виготовленні елементів лінзи. Ці допуски можуть включати коливання радіуса кривизни, товщини, нерівності поверхні та товщини краю. Існують також допуски, пов'язані з механічним складанням системи. Сюди входять децентер, нахил та відстань між елементами.

Матеріали, поверхні та покриття. Лінзи для тепловізійних систем виготовляються з матеріалів з низьким поглинанням в ІЧ-області спектра. Основні матеріали, що використовуються для виготовлення цих лінз, включають окуляри Ge, Si, ZnS, ZnSe, CaF<sub>2</sub> та халькогеніди. Дзеркала також можна використовувати як оптичні компоненти для тепловізійних систем. Ці компоненти мають поверхні, в основному виготовлені з металів, таких як алюміній та мідь. Більше інформації про дзеркала та їх поверхні можна знайти в розділі "Фізика оптичних дзеркал".

Існує чотири основних типи оптичних поверхонь, що використовуються для побудови оптичних компонентів: плоска (як показано на рис. 2.4), сферична, асферична та дифракційна. Площинні та сферичні поверхні зроблені для розміщення параксіальних хвильових фронтів, тобто слабо фокусуєчих геометрій [11].

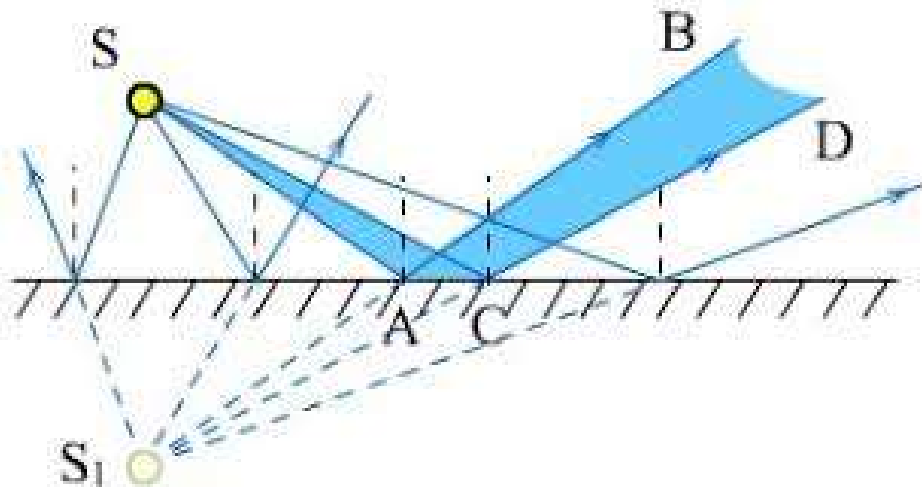


Рисунок 2.4 – Приклад плоскої поверхні

Асферичні поверхні призначені для виправлення помилок фронту хвилі, таких як сферичні аберації, і тому є більш придатними для більш сильних геометричних фокусів. Дифракційні поверхні призначені для корекції хроматичних аберацій.

Для ІЧ-оптичних компонентів площинність поверхні або нерівності мають стандартну точність  $\lambda/2$  при 633 нм, що може бути досить вимогливим при певних довжинах ІЧ-хвиль. Стандарти якості поверхні зазвичай вимагають значень подряпин та риття 80-50 для регіону LWIR та 60-40 для регіону SWIR. Для кривизни поверхні зазвичай потрібна точність 0,1% від значення радіуса або вище, тоді як стандартні значення шорсткості поверхні знаходяться в діапазоні 25 нм середньоквадратичного значення. Окрім високоякісних оптичних поверхонь, позиціонування лінз також має вирішальне значення в системах тепловізійного зображення. Це може включати абсолютні положення в оптичному корпусі та відносні положення двох поверхонь лінз. Вимірювальні інструменти, такі як високоточні штангенциркулі, мікрометри та компаратори, використовуються для задоволення необхідних специфікацій.

Майже всі оптичні поверхні, пов'язані з ІЧ-оптичними компонентами, мають покриття. Покриття слугують двом цілям: покращити спектральні характеристики, тобто пропускання та відбиття, та витримувати умови навколишнього середовища. Деталі щодо загальних характеристик покриттів та технологій нанесення наведені в Оптичних покриттях. Оптичні покриття, спеціально для ІЧ-оптики, належать до однієї з наступних категорій: висока ефективність, висока міцність і твердий вуглець. Високоєфективні покриття мають чудові спектральні характеристики з низькою екологічною стійкістю, тоді як високоміцні покриття жертвують спектральними характеристиками для підвищення екологічної довговічності. Тверді вуглецеві покриття мають одношарові алмазоподібні покриття і мають дуже високу екологічну стійкість, тоді як їх спектральні характеристики можуть бути адаптовані до цільового застосування [11].

Монтажне та механічне проектування. Перед складанням тепловізійної системи вимоги до технічних характеристик перевіряються для всіх попередньо зібраних деталей. Під час складання всі елементи, як механічні, так і оптичні, не повинні містити сміття, що потенційно може пошкодити.

Основна мета полягає в тому, щоб оптичні елементи були правильно розміщені відповідно до оптичних та механічних вимог конструкції. Існує кілька методів калібрування та складання, розроблених для задоволення цих вимог, які різняться за складністю залежно від системи. Наприклад, системи, які призначені для функціонування в екстремальних умовах навколишнього середовища, наприклад, при температурі, ударах, вібраціях, дощі, будуть проходити більш суворі протоколи монтажу.

Потрібні більш складні зусилля щодо складання та механічного проектування, коли оптичні компоненти перестають знаходитись у фіксованих положеннях один щодо одного, наприклад, у зум-об'єктиві. У цьому випадку внутрішні лінзи переміщуються в різні положення з метою досягнення гарного фокусування для всіх розроблених FOV. Механізми позиціонування можуть бути як статичними, так і динамічними і можуть вимагати високого ступеня точності з плавним рухом та нульовим люфтом для нормальної роботи. Для моторизованих систем формування зображень контролер використовує кодер разом із пошуковою таблицею для правильного розташування лінз для досягнення оптимального фокусування відповідно до технічних вимог. ІЧ-лінзи виготовляються з матеріалів, які можуть бути чутливими до температури навколишнього середовища, даючи незначні зміни форми та / або положення при зміні температури. Щоб компенсувати це, контролер може вимірювати температуру навколишнього середовища та переставляти лінзи, щоб підтримувати оптимальне фокусування [12].

Легкі зум-об'єктиви MWIR для БПЛА. Оскільки технологія БПЛА застосовується для дедалі різноманітніших та складніших завдань, був заклик поліпшити продуктивність зображення. Відповідно, виробники детекторів працюють над поліпшенням роздільної здатності, зберігаючи відносно невеликі розміри, щоб забезпечити використання в менших дронах. Хоча роздільна здатність детектора повинна покращити продуктивність зображення, це повинно супроводжуватися покращенням якості об'єктива.

Автомобільні лінзи для систем нічного бачення. Автомобільні системи нічного бачення використовують технологію тепловізійних зображень, щоб дозволити водіям виявляти пішоходів і забезпечувати чіткий огляд дороги, навіть коли зору перешкоджають умови навколишнього середовища, такі як темрява, дим або туман. Для максимальної продуктивності та мінімального ризику зіткнення, точність теплової візуалізації, якість та виявлення об'єктів на великі відстані є критичними, щоб забезпечити водієві достатній час відгуку. Ключем до задоволення цих вимог є використання високочутливої оптики з високою роздільною здатністю.

MKS Ophir заслужив репутацію провідного світового дизайнера та постачальника в області тепловізійної оптики для автомобільного ринку. Покращені атермалізовані лінзи MKS Ophir підвищують продуктивність програмного забезпечення для розпізнавання пішоходів, дозволяючи більше можливостей передбачати потенційні небезпеки. Створені з багаторічним досвідом та знаннями, ці ІЧ-тепловізійні лінзи мають найякісніші компоненти та матеріали, розроблені спеціально для задоволення потреб галузі. Як єдиний постачальник ІЧ-теплової оптики для європейського автомобільного ринку, лінзи MKS Ophir інтегровані в системи нічного бачення провідних європейських автомобілів [12].

Приціли з термічною зброєю. Приціл з тепловою зброєю - це пристрій, що поєднує в собі компактний тепловізор та прицільну сітку. Ці пристрої можуть встановлюватися на різноманітну стрілецьку зброю і часто використовуються мисливцями. Тепловий приціл може бути дуже корисним у місцях, де зору перешкоджають умови навколишнього середовища, такі як темрява, дим або туман. Приціл дозволяє користувачеві легко знаходити будь-яке джерело тепла, наприклад тварину чи транспортний засіб, на тлі нижчої температури.

## 2.2 Технологія OpenCV та її використання у тепловізійних системах

OpenCV– це бібліотека комп'ютерного зору з відкритим вихідним кодом, розроблена компанією Intel на мові програмування C / C ++. Також, вона існує для деяких інших мов, наприклад, для Java. Включає в себе різні алгоритми комп'ютерного зору, розпізнавання зображень і багато іншого, що працюють в реальному режимі часу. Всі бажаючі можуть використовувати бібліотеку OpenCV безкоштовно, як в освітніх цілях, так і в комерційних проектах [13].

OpenCV включає в себе наступні алгоритми:

- розпізнавання об'єктів;
- розпізнавання тексту;
- усунення спотворень;
- виявлення подібності та форми об'єктів;
- стеження за переміщенням об'єкта;
- розпізнавання рухів, жестів і багато іншого.

Наприклад, цю бібліотеку можна використовувати для створення програми для пошуку осіб на зображенні з відеокамери телефону або фотоапарата (для автоматичного фокусування).

Застосування OpenCV. На сьогоднішній день розпізнавання об'єктів в мультимедійному відео потоці стає особливо актуальними. Ведеться дуже багато досліджень в цій області. На одній з конференцій я бачив презентацію однієї цікавої системи німецькими вченими, в якій програмне забезпечення розпознавало фігури людей, і в залежності від того куди рухався чоловік програма автоматично повертала камеру і стежила за ним.

Дану систему, можливо, використовувати для автоматичного запису лекцій, які читає викладач біля дошки. Наскільки я зрозумів, в їх алгоритмі існують деякі проблеми, які вони якраз хочуть вирішити. Наприклад, коли в кадр потрапляли дві фігури, програма могла сплутати викладача з другим чоловіком [14].

### 2.3 Висновки до другого розділу

У другому розділі даної роботи було розглянуто програмні засоби для дистанційного контролю теплових властивостей технічних об'єктів. Було розглянуто принцип дії тепловізорів. Також було розглянуто принцип дії OpenCV та його алгоритми розпізнавання об'єктів. Після отримання потрібної інформації було вирішено використовувати тепловізор для даної роботи та написати програмне забезпечення для даної системи.

## 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

### 3.1 Розробка алгоритмічногозабезпечення (розробка алгоритмів)

Для виконання поставленого завдання потрібно насампередвиявити які у системи є вхідні данні. У нашій системі вхідні данні є зображення з камери. Після того як зображення прийнято з камери необхідно його обробити по пікселям [15]. Це потрібно оскільки програма обробляє зображення тільки по пікселям. Далі потрібно виділити робочу зону.

Це буде робитися за допомогою OpenCV, виділення робочої зони потрібно для того щоб мінімізувати час на виконання роботи та виділення залишається на екрані для зручності для корисувача(як показано на рис. 3.1).

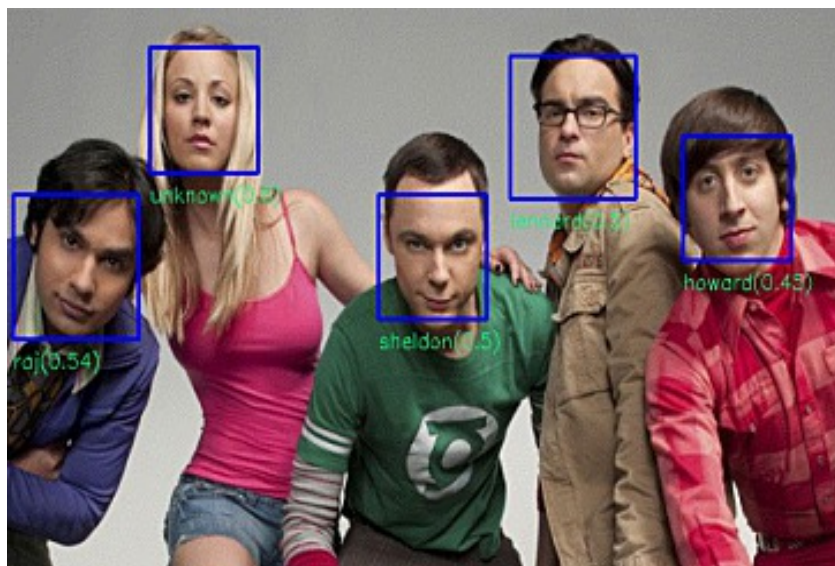


Рисунок 3.1 – Приклад роботи розпізнавання об'єктів

Далі необхідно виявити що за об'єктпредставлений на екрані. Це буде робитися за допомогою бази даних. А вже як програма буде виявляти той це об'єкт чин і це можна зробити двома шляхами.

Перший шлях це зробити розширенню БД щоб у ній було записано параметри об'єктів у пікельному варіанті і тоді прості операції у програмі зможуть виявити що за об'єкт перед користувачем[16]. Але недоліком данного методу може слугувати велике навантаження бази даних.

Другий шлях полягає у тому що база даних не буде такою навантаженою параметрами але буде велике навантаження процесору.

Нейронна мережа – це сукупність нейронів, які зв'язуються з другом у ланцюгах.Кожна з ланцюга – окремий елемент, який відповідає для розподілу якого-небудь критерію[17].А разом нейронні мережі бачать предмет цілком.Ця система може працювати за заданим алгоритмом та навчатися самостійно: заповнювати інформацію, діяти за шаблоном і навіть видавати самостійні реакції(як показано на рис.3.2) [18].

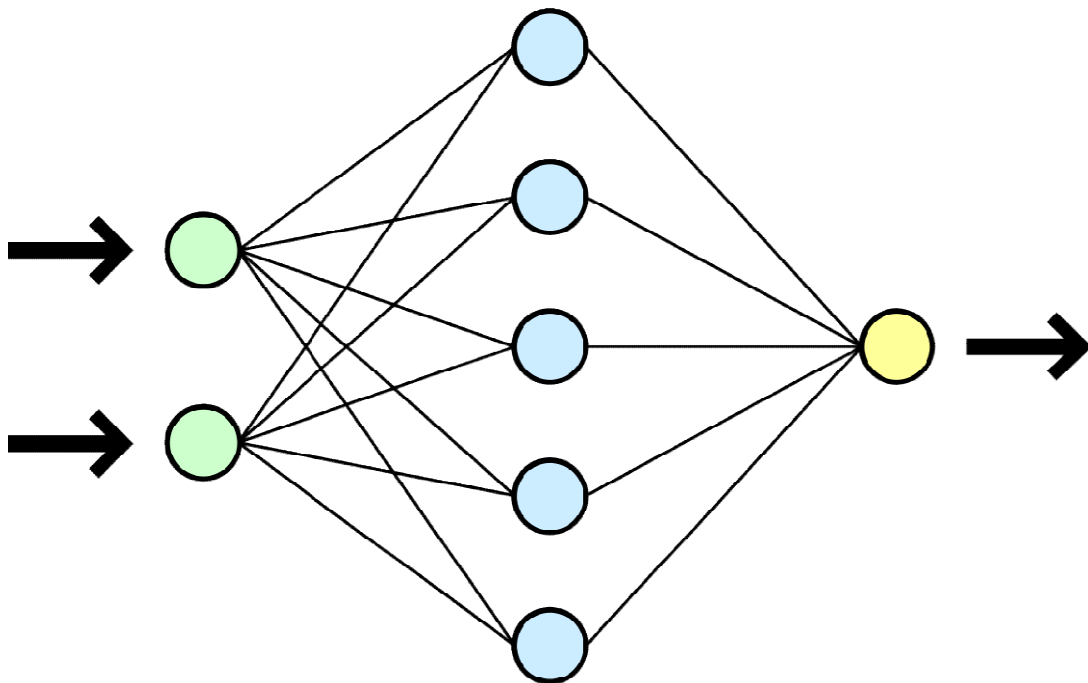


Рисунок 3.2 – Схема 2-х шарової нейронної мережі

У варіанті за нейронними мережами все оперує з малим набором даних мережа буде сама виявляти що за об'єкт перед користувачем. Але недоліки данної системи заключаються у тому що система буде сильно навантажена через те що у коді будуть оперувати моделі нейронів. Через це можуть бути проблеми з закриттям зображення для користувача. Але через те що будуть використовуватись нейронні мережі за навчанням з вчителем такі помилки через час можуть виникати менше [19].

Через те, що навантаження ресурсу сервера менш шкідливо ніж навантаження пристрою, було вирішено використовувати перший варіант з розширеною базою даних.

Після виявлення що за об'єкт перед користувачем та виконання порогу дозвонної температури зображення виводиться на екран. На цьому робота пристрою вирішується закінченою.

Перед тим як виконувати проєкт необхідно виконати блок схему та перевірити її на недоліки.

Як можна побачити нижче що для того щоб програма працювала потрібно поставити 2 перехоплювача помилок. Один для підключення до БД, а другий для порівняння з БД та в разі не знаходження запису нового об'єкта

Алгоритм роботи програми:

- отримання зображення;
- обробка зображення;
- підключення до БД. Якщо підключення не вдалось то повертаємось до пункту 2;
- порівняння з БД. Якщо у БД не знайшлось даних то заносимо нові данні до БД;
- завантаження даних до БД;
- відправлення даних;

### 3.2 Розробка програмного забезпечення

Для виконання даного завдання в ПО що розробляється необхідно підключити потрібні на модулі. У мові програмування Python модуль виконує роль ту ж що і бібліотеки в інших мовах програмування. Підключення модулів допоможе зменшити код що робить його більш читабельним для модернізації а також зменшує займане місце на пристрої. Під модулем в Python розуміється файл з розширенням .py [20]. Модулі призначені для того, щоб в них розуміти часто функції, константи і т.д. Можна умовно розділити модулі та програми – призначені для безпосереднього запуску, а модулі для імпортування їх в інші програми. Варто зауважити, що модулі можуть бути написані не тільки на мові Python, і на інших мовах.

```
import os
import socket
import sys
import cv2
import io
import mysql.connector
from mysql.connector import Error
```

Як показано вище для роботи програми необхідно 6 модулів для коректної та ефективної роботи. Кожен з цих модулів виконує свою певну функцію. Команда «import» необхідна для підключення модулів.

- os – дозволяє працювати з файловою системою, з оточенням, управляти процесами;

- socket – модуль для підключення і передачі даних через порти для кращої передачі даних;

- sys – пропонує методи, які дозволяють працювати з різними елементами середовища виконання Python. З його допомогою можна використовувати з інтерпретатором, використовуючи різні функції;

– cv2 – модуль OpenCV;

– mysql.connector – необхідний для підключення бази даних. В даному випадку що б не навантажувати систему було прийнято рішення імпортувати тільки окрему функцію підключення і для більш швидкодії окремо підключити з цього модуля функцію перехоплення помилки;

– io – необхідний для роботи з типами даних.

Без підключення даних модулів робочий код програми був би вдвічі більше що дуже сильно навантажувати б систему і призводило до затримок. Далі необхідно оголосити функцію для підключення камери і роботи з модулем OpenCV. Цей модуль дозволить визначати позиції очей і рота які дозволять нам визначати межі особи і буде виводити на дисплей. Межі особи необхідно визначати для того щоб програма могла далі з цією областю працювати і вже від неї виявляти що це за тип об'єкта.

def video():

```
    face_cascade_db = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
"haarcascade_frontalface_default.xml")
```

```
    eye_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
"haarcascade_eye.xml")
```

```
    cap = cv2.VideoCapture(0)
```

while True:

```
    success, img = cap.read()
```

```
    img_gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

```
    faces = face_cascade_db.detectMultiScale(img_gray, 1.1, 19)
```

for (x, y, w, h) in faces:

```
    cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)
```

```
    img_gray_face = img_gray[y:y + h, x:x + w]
```

```
    eyes = eye_cascade.detectMultiScale(img_gray_face, 1.1, 19)
```

for (ex, ey, ew, eh) in eyes:

```
    cv2.rectangle(img, (x + ex, y + ey), (x + ex + ew, y + ey + eh), (255, 0,
0), 2)
```

```

cv2.imshow('rez', img)
if cv2.waitKey(1) & 0xff == ord('q'):
break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
return img

```

Як показано вище в функції «video» було реалізовано підключення до камери і визначення робочої області. Змінну «img\_gray\_face» буде в подальшому використовуватися для визначення типу об'єкта. У цю змінну занесені параметри для визначення типу об'єкта. Тобто його контур і, якщо таке у об'єкта є, очі і рот об'єкта. Таким поділом можна буде відразу відсіювати типи об'єктів по класу предмет або живий об'єкт. Далі необхідно провести порівняння з базою даних, але для початку потрібно підключитися до бази даних. Це буде реалізовано через модуль mysql.connector.

```

def create_connection(host_name, user_name, user_password):
    connection = None
    try:
        connection = mysql.connector.connect(
            host=host_name,
            user=user_name,
            passwd=user_password
        )
        print("Connection to MySQL DB successful")
    except Error as e:
        print(f"The error '{e}' occurred")
    return connection

connection = create_connection("localhost", "root", "")

```

Як показано вище підключення до локальної бази даних відбувається через користувача і пароль до нього. Також реалізована функція перепідключення до базиданих у випадку невдачі.

```
def perenos ()
sock = socket.socket(socket.AF_INET,socket.SOCK_DGRAM) # For UDP

udp_host = socket.gethostname() # Host IP
udp_port = 12345 # specified port to connect

#print type(sock) =====> 'type' can be used to see type
# of any variable ('sock' here)

sock.bind((udp_host,udp_port))

while True:
print "Waiting for client..."
data,addr = sock.recvfrom(1024) #receive data from client
print "Received Messages:",data," from",addr
```

Після порівняння з базою даних і отримання відповіді необхідно передати зображення на пристрій з якого працівники можуть отримувати інформацію і вже визначити подальші дії виробництва. Це було реалізовано з допомогою модуля «socket» як показано вище. Інформація була передана по порту udp. Для зручності проведення експерименту було вибрано порт «12345». При установці приладу в робочу область порт буде обраний вже на місці. Це зроблено для того щоб не конфліктувати з іншими дозволеними портами в робочій зоні.

```
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Як показано на вище було реалізовано висновок інформації на екрані постійне оновлення. Так як програма обробляє тільки зображення а не відео

вцілому, але для того щоб на екран користувача виводилося відео ПЗ постійно оновлює зображення. Тобто відео передається по-кадрово.

### 3.3 Тестування програмного забезпечення

Тестування даної системи проводилось на різних етапах. Тестування було необхідно провести для того щоб перевірити наявність багів та перевірити коректне працювання програми.

Тестування буде проводитися на трьох об'єктах це: телевізор, чайник та живий об'єкт. У данному випадку за живий об'єкт було обрано kota. Тестування технічних об'єктів буде проведено при їх тривалій праці. Це для того щоб коректно виміряти температуру та порівняти її з технічними характеристиками приладу..

Перше тестування було проведено для перевірки чи здатна програма отримувати зображення з камери(як показано на рис. 3.3).

Друге тестування було проведено чи здатна програма за допомогою модуля OpenCV виявляти об'єкти. Для випробування за об'єкт було взято людину(як показано на рис. 3.4).

Далі випробування були на передачу даних та з'єднання з БД. Ці випробування були проведені в з'єднанному коді.

Далі були випробування з самою системою виявлення теплових властивостей об'єктів. За об'єкти тестування було обрано: телевізор, комп'ютер та кіт.



Рисунок 3.3 – Приклад запуску програми

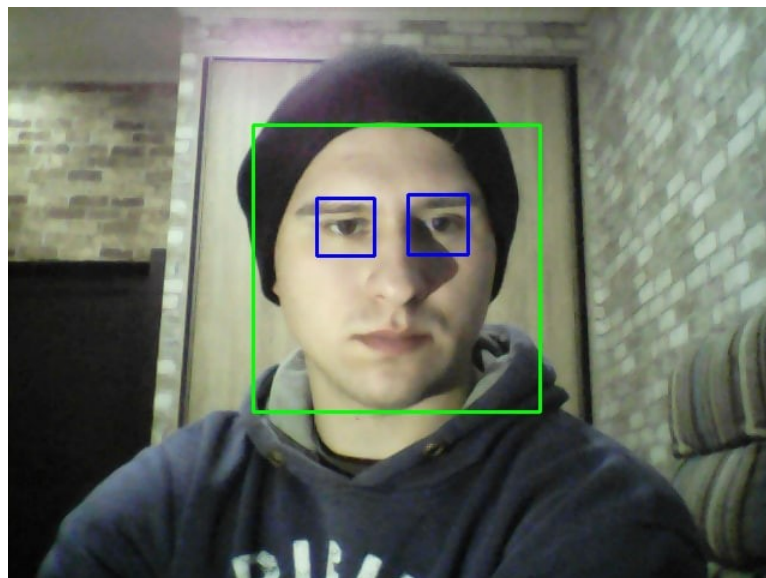


Рисунок 3.4 – Приклад роботи модуля OpenCV

Першим об'єктом для тестування був телевізор. Об'єкт працював приблизно годину та вся електроніка вже мала нагрітись, та мати середню температуру для свого пристрою. Отже програма повинна не тільки виявляти температуру об'єкта а також виявляти що за обект знаходиться перед камерою.

Як можна побачити на рис. 3.5 , пристрій зміг спіймати телевизор та виявити температуру об'єкта. Але також було виявлено деякі неполадки які продемонстровані на наступному рисунку.



Рисунок 3.5– Тест №1 роботи програми

Як можна побачити на рис. 3.6 , програма не змогла виявити ніякого зображення. Це виникло через те що камера не зафіксувала об'єкт цілком. Це означає що, об'єкт повинен бути у центрі поля зору камери.

Далі було проведено експеримент на об'єкті чайник.

Як показано на рис. 3.7, програма виявила об'єкт але вказала невірну температуру. Це виникло через те що, камера захопила у поле об'єкту сторонній об'єкт з вищою температурою, а саме вогонь с плити. Тобто для того щоб коректно виявляти температуру об'єкта потрібно щоб об'єкт був без сторонніх об'єктів у полі зору камери.



Рисунок 3.6 – Тест №2 роботи програми

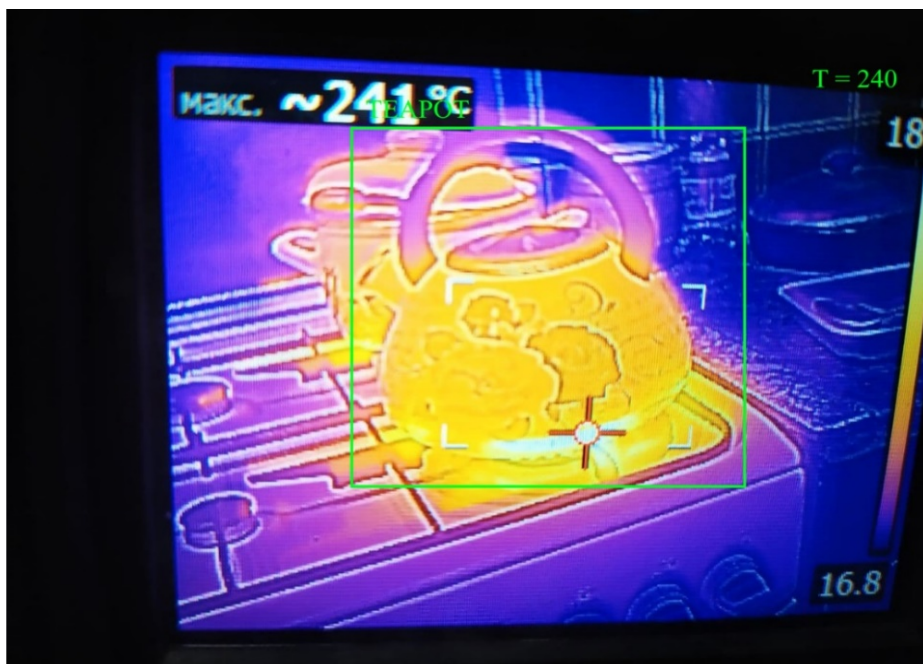


Рисунок 3.7 – Тест №3 роботи програми

Приклад коретної роботи програми можна побачити на рис. 3.8. Програма правильно виявила об'єкт та визначила коректну температуру. Це завдяки тому що з поля зору камери було прибрано вогонь, який заважав програмі коректно виявляти температуру об'єкту.



Рисунок 3.8 – Тест №4 роботи програми

Далі було проведено тестування на живих об'єктах. Як можна побачити на рис. 3.9, програма визначила об'єкт та температуру.

Але як можна побачити на рис. 3.10, програма не виявила об'єкт. Це виникло через те що об'єкт повинен мати чітке зображення. Тобто даний пристрій може слугувати для того щоб перевіряти температуру людини при вході у приміщення, але людина повинна затриматись на декілька секунд, для того щоб програма змогла чітко визначити температуру.



Рисунок 3.9 – Тест №5 роботи програми



Рисунок 3.10 – Тест №6 роботи програми

Отже програма пройшла всі тестування і були виявлені несправності. В поле зору можуть потрапити об'єкти які мають більшу температуру та

завадити коректному показнику температури об'єкта. Такий об'єкт повинен бути повністю в кадрі для того щоб програма виявила його. Також не менш важливим є той факт, що об'єкт повинен затриматись на декілька секунд для точного визначення температури.

### 3.4 Питання охорони праці та безпеки життєдіяльності

Базовий показник для визначення складових витрат праці розраховується за формулою:

$$T = T_0 + T_\delta + T_a + T_n + T_{\text{н}} + T_{\text{док}}, \quad (3.1)$$

де  $T$  – загальні витрати труда, люд. годин;

$T_0$  – витрати труда на опис завдання;

$T_\delta$  – витрати на розгляд предметної області;

$T_a$  – витрати на розробку алгоритму рішення задачі;

$T_n$  – витрати на програмування;

$T_{\text{н}}$  – витрати на настроювання програми;

$T_{\text{док}}$  – витрати на підготовку документації.

Всі складові визначаються через умовне кількість операторів  $Q$ :

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (3.2)$$

де  $q$  – кількість операторів;

$c$  – коефіцієнт складності завдання (приймається від 1,25 до 2,0);

$p$  – коефіцієнт корекції програми, який враховує новизну проекту (для абсолютно нової програми дорівнює 0,1).

Візьмемо кількість операторів 23. З них 19 – кількість студентів, 4 – викладачів і інженерів-лаборантів, які будуть використовувати даний програмний продукт в навчанні (лабораторній практиці). Коефіцієнт

складності програми прийmemo за 1,5, тому що програмне забезпечення середньої складності.

Програма нова, тому коефіцієнт корекції програми візьmemo 0,1. Підставивши отримані дані в формулу, отримаємо:

$$Q = 23 \cdot 1,5 \cdot (1 + 0,1) = 38. \quad (3.3)$$

Залежно від складності продукту  $T_0$  візьmemo діапазон від 1 люд.год. до 5 люд.год. Програмний продукт середньої складності, тому  $T_0$  візьmemo 3 люд.год.  $T_\delta$  визначається за формулою:

$$T_\delta = (Q \cdot B) / (S_\delta \cdot k), \quad (3.4)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат роботи внаслідок недостатнього опису завдання від 1,2 до 1,5);

$S_\delta$  – кількість операторів на 1 люд. год дорівнює 1;

$k$  – коефіцієнт кваліфікації працівника.

Таким чином, з огляду на стаж працівника до 2-х років, прийmemo коефіцієнт 0,8.

$$T_\delta = (38 \cdot 1,2) / (1 \cdot 0,8) = 57 \text{ люд.год.} \quad (3.5)$$

$T_a$  визначається за формулою:

$$T_a = Q / (S_a \cdot k), \quad (3.6)$$

$$S_a = 1 - 2,$$

де  $S_a$  – кількість операторів, зайнятих розробкою блок-схеми, доводиться на 1 люд.год.

$$T_a = 38/(2 \cdot 0,8) = 24 \text{ люд.год.} \quad (3.7)$$

Витрати на програмування розрахуємо за формулою:

$$\begin{aligned} T_n &= Q/(S_n \cdot k), \\ S_n &= 1 - 2, \end{aligned} \quad (3.8)$$

де  $S_{II}$  – кількість операторів, зайнятих програмуванням, яка доводиться на 1 люд.год.

$$T_n = 38/(2 \cdot 0,8) = 24 \text{ люд.год.} \quad (3.9)$$

Витрати на настройку програми розрахуємо наступним чином:

$$\begin{aligned} T_n &= Q/(S_n \cdot k), \\ S_n &= 1 - 2, \end{aligned} \quad (3.10)$$

де  $S_n$  – кількість операторів, зайнятих налаштуванням, яка припадає на 1 люд.год.

Витрати на підготовку документації знайдемо за формулою:

$$T_{\text{док}} = T_{\text{др}} + T_{\text{док}}, \quad (3.11)$$

де  $T_{\text{др}}$  – затрати труда на підготовку матеріалу рукописи;

$T_{\text{док}}$  – затрати труда на редагування, роздруківку і оформлення документів.

$$\begin{aligned} T_{\text{др}} &= Q/(S_{\text{др}} \cdot k), \\ S_{\text{др}} &= 1 - 2, \end{aligned} \quad (3.12)$$

де  $S_{др}$  – кількість операторів, зайнятих підготовкою матеріалів в рукопису на 1 люд. год.

$$T_{др} = 38 / (1 \cdot 0,8) = 24 \text{ люд. год.} \quad (3.13)$$

$T_{док}$  визначається за формулою:

$$T_{док} = 0,75 \cdot T_{др} = 0,75 \cdot 24 = 18 \text{ люд. год.}, \quad (3.14)$$

$$T = 38 + 57 + 24 + 24 + 24 + 18 = 185 \text{ люд. год.} \quad (3.15)$$

Отримане значення загальної трудомісткості необхідно відредагувати з урахуванням рівня мови програмування:

$$T_{кор} = T \cdot k_{кор} = 185 \cdot 0,9 = 167, \quad (3.16)$$

де  $k_{кор}$  – коефіцієнт враховує рівень мови програмування (0,8 – 1).

Час роботи персонального комп'ютера (фонд часу) під час створення програмного продукту визначається за формулою:

$$\Phi_v = 1,15 \cdot (T_{II} + T_D + T_H) \cdot k_{кор}, \quad (3.17)$$

$$\Phi_v = 1,15 \cdot (24 + 24 + 24) \cdot 0,9 = 75,$$

де 1,15 – коефіцієнт, який враховує витрати часу на профілактичні роботи.

### 3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розглянуто принципи роботи алгоритму OpenCV а також розробка алгоритму роботи програми. Було розроблено

програмне забезпечення для системи. Програмне забезпечення пройшло тестування та виявлено недоліки та переваги. Було розглянуто питання про охорону праці під час розробки програмного забезпечення.

## ВИСНОВКИ

В магістерській атестаційній роботі розглянуто проблему вимірювання теплових властивостей об'єктів дистанційно.

Мета атестаційної роботи – розробка програмного забезпечення для дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Об'єкт дослідження – процес дистанційного аналізу теплових властивостей технічних об'єктів.

Предмет дослідження – підвищення ефективності системи дистанційного аналізу теплових властивостей об'єктів.

Новизна дослідження полягає у розробці удосконалених програмних засобів, які дозволяють аналізувати температуру технічних об'єктів на основі зображень, отриманих за допомогою інфрачервоної камери.

Проведено аналіз існуючих моделей систем дистанційного вимірювання теплових властивостей об'єктів, виявлено їх основні компоненти. У функції даних систем входить вимірювання теплових властивостей об'єктів за допомогою отриманої з сенсорів інформації. Розглянуто найбільш поширені методи вимірювання температури об'єктів, найліпшим з яких являється тепловізор. Визначено основні функції системи.

Спроековано систему дистанційного вимірювання теплових властивостей об'єктів, її інформаційну модель. Така система зчитує данні з зображень з камери та виявляє що за об'єкт знаходиться на зображенні за допомогою бази даних. Опираючись на наявну інформацію вона здатна виявити температуру об'єкта за допомогою кількості заявлених пікселів у робочій області.

Розроблено базу даних у яку додається інформація про об'єкт.

У якості апаратної платформи для системи дистанційного вимірювання теплових властивостей об'єктів було обрано Raspberry Pi 4B, у якому наявні

необхідні датчики, та доступ до мережі Інтернет. Це забезпечує компактність та мобільність разом з необхідною розрахунковою здатністю.

Було проведено тестування пристрою для коректування коду та виявлення недоліків системи.

Дана система дозволяє проводити виміри температури об'єкта та виявляти що за об'єкт перед системою. Переваги даної системи полягають у тому що вона є більш дешевою ніж її аналоги.

У подальшому, для покращення роботи системи необхідно використовувати більш дорогі та ресурсо-доступні компоненти. Це потрібно для того щоб система могла більш швидше реагувати та обробляти зображення. Також для коректної праці системи необхідно щоб досліджуваний об'єкт знаходився у центрі кадра та у робочій зоні не було зайвих об'єктів з вищою температурою.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст].- К.: ДП «УкрНДНЦ» , 2015. - 31 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – К.: Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи»[Текст] / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В.Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
4. Положення про протидію академічному плагиату в ХНУРЕ [Електронний ресурс] / Режим доступу: www/ URL: [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE-290-vid-28.04.2017.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE-290-vid-28.04.2017.pdf) – 29.08.2019р. – Заголовок з екрану.
5. Що таке тепловізор [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://fortuna.army/thermal-imager/>– 05.10.2020р. – Заголовок з екрану.
6. Методи вимірювання температур [Електронний ресурс]. –Режим доступу:<https://профлаб.рф/articles/metody-izmereniya-temperatury/>– 05.10.2020р. – Заголовок з екрану.

7. BetaSoft [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.betasoft.com/index.php/development/cloud>. – 05.10.2020р. – Заголовок з екрану.
8. Використання тепловізора[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://www.pergam.ru/articles/primenenie-teplovizorov.htm>– 05.10.2020р. – Заголовок з екрану.
9. Optris[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.optris.ru/primery-primeneniya> – 05.10.2020р. – Заголовок з екрану.
10. Matveyev S.VThe optical tweezers: multiple-point interaction technique (англ.) / S.V. Matveyev, M. Göbel // Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, Osaka, Japan. – New York, NY,USA: ACM, 2003. –С. 184–187.
11. Монаков, А.А. Теоретическиеосновырадионавигации[Текст] /А.А. Монаков. – Санкт-Петербург: СПбГУАП, 2002. – 70 с.
12. FengandK. Cameron, “Thegreen500 list: Encouragingsustainablesupercomputing,” Computer, 2007.–С. 50–55.
13. OpenCV[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://opencv.org>– 15.10.2020р. – Заголовок з екрану.
14. OpenCv шаг за шагом [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://robocraft.ru/blog/computervision/264.html>– 15.10.2020р. – Заголовок з екрану.
15. Техніко-укономічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ. 2019 р. – 448с.
16. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об’єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017, – 396с.
17. Ain[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://ain.ua/2017/03/03/kak-rabotayut-nejroseti/>– 15.10.2020р. – Заголовок з екрану.

18. InSales[Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.insales.ru/blogs/university/что-такое-нейросети>– 15.10.2020р. – Заголовок з экрану.
19. Нейросети что это такое и как это работает[Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.mirf.ru/science/kak-rabotayut-nejroseti/>– 15.10.2020р. – Заголовок з экрану.
20. Python[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.python.org> – 15.10.2020р. – Заголовок з экрану.