

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
приладобудівний факультет  
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК 621.384.3

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій ПРОТАСОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»

на тему: «Тепловізійна система з мультиспектральним  
комплексуванням зображення»

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-91мп  
Сторожик Денис Володимирович

Науковий керівник:

к.т.н., ст. в.

Муравйов Олександр Володимирович

Консультант з «Розробка стартап-проекту»:

д.е.н., доц.

Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

к.т.н., доц.

Мокійчук Валентин Михайлович

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
приладобудівний факультет  
кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК 621.384.3

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Анатолій ПРОТАСОВ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»  
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Тепловізійна система з мультиспектральним  
комплексуванням зображення»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-91мп  
Сторожик Денис Володимирович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

к.т.н., ст. в.  
Муравйов Олександр Володимирович \_\_\_\_\_

Консультант з «Розробка стартап-проекту»:

д.е.н., доц.  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доц.  
Мокійчук Валентин Михайлович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**приладобудівний факультет**  
**кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій ПРОТАСОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Сторожик Денис Володимирович**

1. Тема дисертації «Тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображення», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович старший викладач к.т.н., затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. № 3228-с
2. Термін подання студентом дисертації 09.12.2020 р
3. Об'єкт дослідження: підвищення інформативності зображень, яке дало б змогу автоматизувати процес вимірювання температури людей в місцях їх масового скупчення.
4. Вихідні дані: вибірка портретних термограм та фотографій; спектральні діапазони роботи каналів оптичної системи: 0,36-0,76 мкм та 7-11 мкм.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд за темою дослідження, провести аналіз існуючих систем-аналогів, розробити оптичний тракт та функціональну схему приладу, розробити програму для вимірювання температури тіла в ділянці ока з використанням комплексування зображень.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: результати розробки оптичного тракту та функціональної схеми, результати моделювання оптичної системи, схема роботи розроблених програм.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікація трьох статей в XI і XII науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», публікація статті у журналі «Наукові вісті КПІ».

#### 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К.О., д.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих систем.	3 тижні	
	Розробка оптичного тракту.	2 тижні	
	Розробка функціональної схеми.	1 тиждень	
	Створення програмного забезпечення.	4 тижні	
	Навчання нейронної мережі.	1 тиждень	
	Виконання розділу «Розробка стартап-проекту»	1 тиждень	
	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів	1 тиждень	

Студент

Денис СТОРОЖИК

Науковий керівник

Олександр МУРАВЙОВ

## АНОТАЦІЯ

Дана магістерська дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг роботи склав 130 сторінок, містить 64 ілюстрації та 24 таблиці. Опрацьовано 54 джерела літератури.

Як результат роботи над магістерською дисертацією було розроблено функціональну схему та оптичний тракт тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення, розроблено 3 повноцінних програми та навчено нейронну мережу. Також було розроблено стартап-проект, для аналізу можливого комерційного використання розробленої системи.

Головною функцією розробленої системи має стати масовий контроль температури тіла людей в місцях скупчень, для виявлення підвищеної температури – головним симптомом інфекційного захворювання. Події останнього року продемонстрували нам актуальність даної проблеми.

Ключові слова: тепловізори, комплексування зображень, тепловий контроль, неруйнівний контроль, машинне навчання, автоматизація, температурний скринінг, двоканальна оптична система, обробка зображень, с#, контроль інфекційних захворювань.

## ABSTRACT

This master's dissertation consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, list of references and appendices. The total volume of the work was 130 pages, contains 64 illustrations and 24 tables. Processed 54 sources of literature.

As a result of work on the master's dissertation the functional scheme and optical tract of thermal imaging system with multispectral image fusion were developed, 3 full-fledged programs were designed and the neural network was trained. A startup project was also developed to analyze the possible commercial use of the designed system.

The main function of the designed system should be mass control of body temperature of people in places of accumulation, to detect fever - the main symptom of an infectious disease. The events of the last year have shown us the urgency of this problem.

Keywords: thermal imagers, image fusion, thermal control, non-destructive testing, machine learning, automation, temperature screening, two-channel optical system, image processing, c#, control of infectious diseases.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА .....	10
1.1. Передумови контролю температури тіла людини .....	10
1.2. Комплексування зображень .....	22
1.3. Оцінка якості сегментації зображень .....	32
1.4. Оцінка інформативності зображення .....	33
1.5. Аналоги розроблюваної системи .....	35
1.5.1. ПЕРГАМЕД-Бар'єр .....	35
1.5.2. Тепловізор Dahua .....	37
1.5.3. Тепловізор Hikvision .....	39
Висновки до розділу 1 .....	40
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ .....	41
2.1. Розробка ТВ каналу .....	41
2.2. Розробка ІЧ каналу .....	45
2.3. Синтез функціональної схеми системи .....	50
Висновки до розділу 2 .....	51
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	53
3.1. Розробка програми для дослідження впливу комплексування на інформативність зображення .....	54

3.2. Розробка програми для зміни кольорової палітри термограми .....	58
3.3. Розробка програми для виміру температури тіла з використанням комплексування зображень .....	65
3.4. Розробка нейронної мережі для контролю наявності маски на обличчі людини .....	75
Висновки до розділу 3 .....	79
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	81
4.1. Опис ідеї проекту та його бізнес-моделі .....	81
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	85
4.3. Розробка ринкової стратегії проекту .....	92
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	94
Висновки до розділу 4 .....	97
ВИСНОВКИ .....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	101



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ІЧ – інфрачервоний;

ТВ – телевізійний;

ОК – об'єкт контролю;

ПЗ – програмне забезпечення;

ОС – оптична система.

## ВСТУП

На сьогодні задача вчасного виявлення хворих на інфекційні захворювання стає першочерговим питанням. Використання автоматизованих систем та комп'ютерно-інтегрованих технологій може значно пришвидшити цей процес.

Одним з найголовніших симптомів інфекційного захворювання людини є підвищена температура тіла, тому під час пандемії впроваджують пункти виміру температури людей у місцях масового скупчення. Існуючі методи виміру температури не є ефективними, так, як неможливо проводити вимір більше ніж однієї людини за раз та точність таких вимірювань досить сумнівна, як відомо, зовнішні фактори значно впливають на температуру певних ділянок тіла, тому точне вимірювання можливо проводити лише в деяких частинах тіла людини.

Тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображення позбавлена таких недоліків, адже дозволяє проводити масовий скринінг температури людей у місцях масового скупчення, таких, наприклад, як станції метро чи торговельні центри, та здатна вимірювати температуру необхідної частини тіла завдяки розробленим алгоритмам обробки візуальної інформації одразу з двох оптичних каналів – телевізійного та інфрачервоного. Перший необхідний для пошуку необхідної ділянки певної частини тіла людини, другий – саме для вимірювання температури.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

Перед початком будь-якого дослідження необхідно ознайомитися з досягненнями інших авторів та зібрати достатній теоретичний матеріал по темі.

У цьому розділі розглянемо проблематику контролю температури тіла людини, одного з базових симптомів інфекційного захворювання, способи оцінки результатів комплексування та оцінки інформативності зображень. Знайдемо аналоги розроблювальної тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення та з'ясуємо, які функціональні можливості цих приладів-аналогів.

### 1.1. Передумови контролю температури тіла людини

Перший вимір температури тіла був зроблений більше 100 років тому (Harvey Cushing 1895) [1]. Це вимірювання було здійснено за допомогою ртутного термометра. У ваш час в медицині використовують ртутні, електронні, рідкокристалічні, інфрачервоні термометри. Найпоширенішими видами електронних термометрів є термістори і термопари. Чутливість цих приладів досить висока, тому що поверхня контакту напівпровідника з поверхнею об'єкту контролю (ОК) дуже мала, менше 1 мм в діаметрі. Термістори, які використовують в клінічній практиці мають роздільну здатність в 0,2 °С при температурі 45 °С [2].

Рідкокристалічні термометри (Рисунок 1.1) змінюють свій колір в залежності від температури тіла пацієнта, для виміру такий термометр безпосередньо прикріплюють до шкіри піддослідного. Системи дистанційного контролю шкірної температури підвищують точність реєстрації даних, бо виникає можливість вимірювань з заданими інтервалами часу, а також можливість обробки та архівування отриманих

результатів у базах даних. Було розроблено швидкодіючий термометр з бездротовим каналом передачі даних, що володіє підвищеною тривалістю роботи з часом вимірювання 1-2 с. і похибкою не більше  $\pm 0,1$  °C, який може використовуватися для моніторингу шкірної температури.

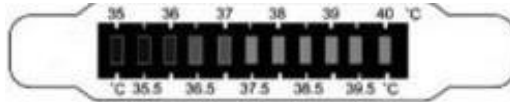


Рисунок 1.1 Рідкокристалічний термометр

За останні двадцять років значно зріс інтерес до вимірювань температури за допомогою тепловізорів та ІК-термометрів. Сучасні тепловізори використовуються в тих випадках, коли необхідний ретельний контроль за тепловим станом об'єктів, а також безконтактне вимірювання температури. Особливо широке застосування тепловізори отримали в будівництві, енергетиці, металургії, в дорожньому будівництві, суднобудуванні, будівництві та експлуатації залізничного полотна.

Підвищена температура тіла один з перших симптомів погіршення здоров'я людини. Що може бути визвано інфекційними захворюваннями. Висока температура може бути індикатором для визначення хворих, яким може знадобитися медична допомога. Проблема в тому, що не кожна людина починає свій день з виміру температури тіла, і якщо його самопочуття не викликає в нього дискомфорту, така людина відправиться на роботу, де може заразити своїх колег. Або навіть, якщо все ж таки людина відчує погіршення самопочуття, не кожен залишиться вдома, щоб не піддавати небезпеці зараження оточуючих.

Поряд з інформуванням людей про важливість дотримання правил попередження поширення респіраторних захворювань та інфекцій ведеться активний пошук способів виявлення недобросовісних

працівників, що грубо нехтують такими правилами, недопущення їх на робочі місця з симптомами погіршення здоров'я і надання їм першої медичної допомоги для попередження виникнення осередків масового зараження на підприємствах і організаціях.

До середини XIX ст. більшість інфекційних захворювань носили назву «лихоманок» чи «гарячок». Під терміном «лихоманка» розуміли не підвищену температуру тіла, а відчуття жару у хворого. Вже в другій половині XIX ст. в наукових роботах приділяли велику увагу температурі пацієнта. Засновник клінічної телеметрії німецький лікар С. Wunderlich в результаті роботи по виміру температурі тіла людини у 1868 р. опублікував наукову роботу з назвою «Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten (The Course of Temperature in Diseases)». У цей ж період була опублікована робота «Графическое выражение температурных величин при острых лихорадочных болезнях» професора Ф.І. Пастернацкого, де він описав свої клінічні спостереження з виміру температури тіла у інфекційних хворих [3].

С. Wunderlich провів близько одного мільйона вимірів температури у 25 тисяч пацієнтів в результаті чого заявляв, що при комфортних умовах середня нормальна температура в пахвовій області для людини становить 37°C (98,6°F) і змінюється в діапазоні 36,2°C (97,2°F) – 37,5°C (99,5°F). Він показав, що температура залежить від багатьох факторів, таких, як вік, стать, самопочуття, діяльність пацієнта та час доби. Нині із поширенням використання більш сучасних засобів виміру було встановлено, що крім всіх критеріїв С. Wunderlich на температуру також впливає місце виміру, температура має не рівні показники в різних точках виміру, наприклад, порожнина рота та пахвова область. Для чоловіків середня температура тіла та діапазон у оральній області становить 36,7° С (35,7– 37,7°C), ректальній – 37,0° С (36,7–37,5°C). Для жінок середня температура тіла та діапазон у оральній області становить 36,2° С (33,2–

38,1°C), ректальній – 36,3° С (35,5–37,0°C). На «заході» золотим стандартом є вимір ректальної температури, в нашій країні, як правило, вимірюють в пахвовій області.

Треба зазначити, що температура тіла має свій циркадний ритм, тобто температура змінюється залежності від часу доби. Так, найнижчий рівень між 3 та 6 годинами ранку, а найвищий між 16:00 та 21:00 годинами. Добовий ритм зберігається при лихоманці, однак зникає при перегріванні.

Найбільш детально явище лихоманки досліджено коли її збудником є інфекційне захворювання. Існує три стадії лихоманки: стадія підвищення температури (*stadium incrementum*); стадія закріплення температури на високому рівні (*stadium fastigium*); стадія зниження температури (*stadium decrementum*).

По тривалості лихоманки класифікують: гострі (до двох тижнів), хронічні (більше 6 тижнів).

Для лікаря інтерпретація лихоманки має важливе значення. Передусім необхідно оцінити початок, вираженість, тривалість лихоманки, тип температурної кривої, терміни появи, характер ураження органів, вплив ліків на лихоманку.

Початок у лихоманок буває різним. Буває гострий початок, наприклад, при грипі, орнітозі та інших. При поступовому розвитку лихоманки температура може збільшуватись декілька днів, наприклад, при черевному тифі.

По ступеню вираженості підвищення температури виділяють субфебрильну (не вище 37, 9 °С), помірну (38,0–39,0 °С), високу (39,1–41,0 °С) и гіпертомічну лихоманку (більше 41,0°C). Підвищення температури тіла вище 42 °С може привести к летальному випадку. Однак, як виключення фіксувалися випадки коли температура підіймалася до 44–45 °С (при правці), де пацієнт виживав. Так,

наприклад, деякі інфекційні хвороби зовсім не викликають збільшення температури тіла (холера). Більшість інфекцій викликає помірну лихоманку.

Однією із визначних рис лихоманки при інфекційних захворюваннях є те, що дестабілізуються робота механізмів відповідальних за теплопродукцію і тепловіддачу, через що, навіть не велике збільшення температури може привести до перегріву організму. При цьому ефективними методами боротьби з перегрівом може стати штучне охолодження.

Таким чином, моніторинг температури тіла людини має високу інформативність в діагностиці багатьох захворювань. Підвищена температура може бути одним із симптомів таких захворювань як: ОРВІ, грип, туберкульоз, тонзиліт, ангіна, вузликівий поліартерит, алергії, раку та інших.

Підвищена температура є одним із симптомів COVID-19 [4] (Рисунок 1.2).

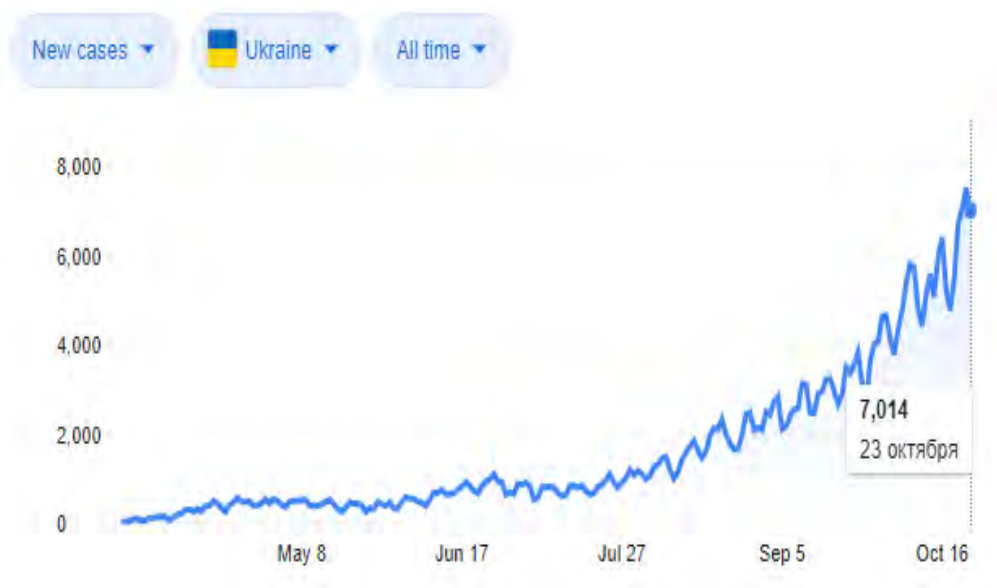


Рисунок 1.2 Динаміка захворюваності COVID-19 в Україні на 24.10.2020

В результаті змін навколишнього середовища, перенасення планети, активної міграції людей та інших факторів, нові інфекційні захворювання поширюються по всьому світу. В наш час таким інфекційним захворюванням стала коронавірусна інфекція, що виявлена в кінці 2019 року в Китайській Народній Республіці з епіцентром у місті Ухань. Ця інфекція 11 березня 2020 року отримала звання пандемії. 11 лютого 2020 року інфекції, викликаній збудником 2019-nCoV, який пізніше перейменували в SARS-CoV-2, було дано офіціальну назву — COVID-19 («Coronavirus disease 2019»).

По даним Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), рання діагностика коронавірусної хвороби, здатна допомогти зупинити розповсюдження вірусу.

Основними клінічними симптомами нової коронавірусної хвороби, як и будь-якого іншого острого респіраторного захворювання, є: підвищення температури тіла вище 37,5 °С.; сухий чи продуктивний кашель з малою кількістю мокрот; відчуття закладеності в грудній клітині; біль в горлі при ковтанні; слабкість; головна біль; часта або повна втрата нюху; діарея; та інші симптоми катарального запалення.

Коронавірусна хвороба не перша і не остання пандемія людства, саме тому необхідно вимірювати температуру тіла безконтактними методами, аби не перейняти вірус у переносника хвороби. Також цей спосіб немало важливий у масовому використанні, адже він значно швидший, зменшує ризики захворювань, зменшує витрати на дезінфікуючі засоби та не потребує такої великої кількості працівників [4].

Окрім дистанційних методів контролю температури було запропоновано оснащення працівників на підприємстві приладами на зразок фітнес браслетів [5]. Запропонований переносний пристрій дозволяє стежити за індивідуальними показниками психофізіологічних



показників організму працівника: температурою тіла, пульсом, місцем розташування на території виробництва, також фіксуванням різкої зміни положення робочого в просторі. Також для відстеження показників було розроблено програму з графічним інтерфейсом та базою даних.

Зазвичай виділяють дві головні зони для вимірювання температури тіла людини – це оболонка та ядро. Оболонка – це шкіра та структури, що розташована поверхнево, а ядро – це кров й усі внутрішні органи. Температура ядра трохи вища за температуру оболонки і вона залежить від усіх фізіологічних процесів, що відбуваються в тілі та внутрішніх органах, та від інтенсивності цих процесів. Коли центральна температура менше  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  або більше  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , це означає або порушення терморегуляції, або про неефективні терморегуляційні захисні механізми, на скільки впливає надзвичайно несприятлива температура навколишнього середовища. Пороговий діапазон внутрішньої температури складає  $0,2\text{-}0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зазвичай тепловіддача проводиться через поверхню шкіри. Різниця між теплопродукцією та тепловтратами и становить температуру тіла людини.

Кут спостереження, тобто кут, під котрим розташований прилад до поверхні об'єкта, який досліджується, в деяких тепловізійних вимірах впливає на результати. Вважають, що при тепловізійній зйомці кут спостереження не повинен бути більш-менш ніж  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Якщо ж збільшити кут спостереження, то різко зменшиться потік випромінювання, що приймається тепловізором, адже максимальне випромінення спостерігається в напрямку, перпендикулярному поверхні тіла, а це в свою чергу вплине на правильність результатів. Також важливо завжди враховувати можливий вплив сонця на інтенсивність інфрачервоного випромінювання об'єктів, коли проводяться виміри на відкритому повітрі [6].

На показники температури, котрі вимірюються за допомогою тепловізора також можуть впливати вітер або протяг в кімнаті. Температура досліджуваного об'єкта та температура навколишнього середовища частіше за все співпадають через процес теплообміну, котрий відбувається за допомогою конвенції між поверхнею тіла і прилеглого повітря [7]. Але ці температури можуть відрізнятись через те, що прилеглий до повітря, або до досліджуваного об'єкта шар може постійно замінюватись новим, котрий має відмінну температуру, через вітер або протяг, котрі присутні в середовищі, де проводиться вимір. Цей ефект теплообміну посилюється при збільшенні різниці між температурою навколишнього середовища та температурою поверхні вимірюваного об'єкта [8].

Одне з питань, котре постійно обговорюється в медицині – найкраще місце для вимірювання температури тіла людини. Потрібно пам'ятати та розуміти, що на температуру шкіри впливають не тільки ядро тіла, а й інші фізіологічні та екологічні чинники. На даний час ще не вистачає емпіричних даних для кореляції температури поверхні тіла людини з температурою її ядра. Сучасні інфрачервоні системи, котрі використовують в імміграційних контрольно-пропускних пунктах та аеропортах, не були науково підтверджені, особливо в тому, що стосується помилково-негативного показника. Через це вони можуть створювати хибне відчуття безпеки, недооцінюючи кількість гарячкових (і, можливо, інфікованих) людей. Також при цьому потрібно враховувати те, що є різниця між значеннями температури органів і тканин, що знаходяться в центральній частині тіла та периферійних частинах. Наприклад, температура шкіри чола (Рисунок 1.3) на 2 °C нижче центральної. Аби виміряти температуру шкіри над областю скроневих артерій використовують термометри, котрі вимірюють температуру з

частотою 10 Гц і захоплюють область скроневих артерій при скануванні шкіри чола і визначають найвищу температуру.

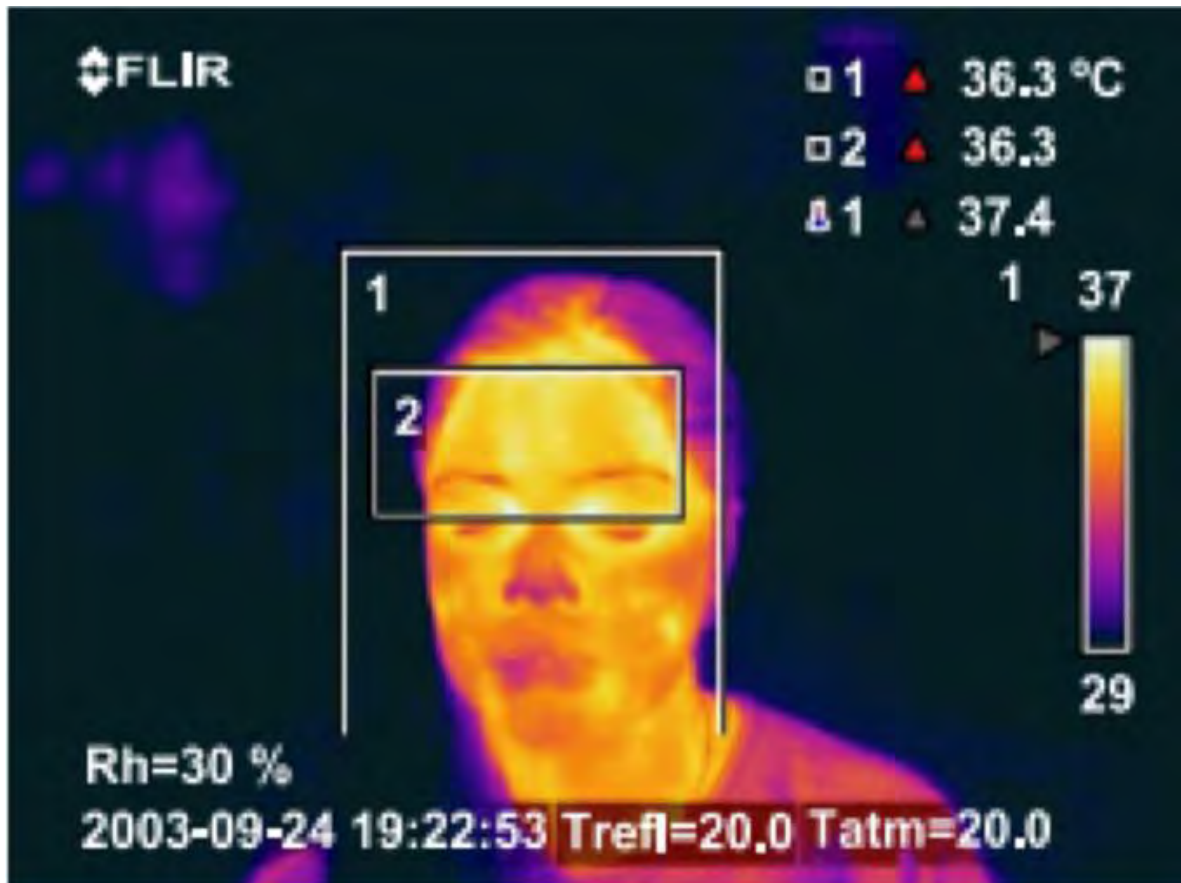


Рисунок 1.3 Термограма обличчя людини, на якій видно різницю температур в різних частинах обличчя

Коли ж різниця розподілу температури на шкірі людини перевищує 0,24 C, то це означає, що відбулось порушення в симетричному розподілу температури і в цій частині пошкоджений судинно-нервовий пучок або присутня інша патологія [9].

Сінгапурським університетом було проведено дослідження 502 інфікованих осіб. Цей дослід проводився на базі відділення невідкладної допомоги госпіталю Танки Ток Сенг (призначеного центру SARS в Сінгапурі), за допомогою «Сінгапурських Сил Цивільної Оборони і Управління цивільної авіації» для того, аби вивчити взаємозв'язок між

температурою чола і очей та фактичною температурою тіла. Перші результати загальної сліпої вибірки склали 85 «гарячкових» і 417 «нормальних» випадків. Як сканери використовувалась портативна радіометрична ІЧ-система ThermoCAM S60 FLIR (FLIR Systems, 2004). Фокусна відстань від досліджуваного до сканера становила 2 метри, а тривалість сканування осіб була 3 секунди. Детектор являє собою фокальну площину, не охолоджуваний мікроболометр 320x240 пікселів з тепловою чутливістю 0.08jC при 30 °C, спектральний діапазон становить 7,5 – 13 Ам і точність вимірювань при 2% від показань у реальному часі. Середня температура поверхні тіла вимірюється в полі зору тепловізора з відповідними налаштуваннями на емісію шкіри і може варіюватись від частини шкіри до іншої в діапазоні 0.94-0,99 (тут використовується 0,98). Нормальна температура тіла, котра є нижчою за 37 °C, створюється завдяки добре вивченим принципам випаровування, конвенції та провідності тепла. Тобто температура, котра вимірюється на поверхні шкіри є поєднанням функції температури внутрішнього органу, теплових властивостей тканин та тепло випромінювання шкіри [10].

В даному дослідженні було використано регресійний аналіз – статистичний метод для отримання унікальної лінії, котра найкращим чином підходить до набору даних точок. Цей метод підганяється під дані, мінімізуючи суму квадратів помилок оцінки. Кожна помилка – відстань, виміряна від лінії регресії до однієї з точок, що містять в собі данні. Регресійний аналіз має типи змінних: незалежні і залежні.

Незалежною змінною в цьому дослідженні є температура ядра, котра вимірювалась за допомогою вушного клінічного термометра Braun Thermoscan IRT 3520+6. Залежною змінною виступає температура поверхні шкіри, котра була виявлена тепловізором. З допомогою програмного забезпечення MedCale (ROC MedCale (вер.7), 2004) обирались рівняння регресії (регресійна модель, рівняння апроксимуючої

кривої). Також було вибрано лінійний найменший квадрат рівняння  $Y=a+bX$ , бо воно є найбільш підходящим для аналізу. Дуже важливим є R-квадрат який необхідно враховувати при проведенні регресії ного аналізу. Він являє собою число від 0 до 1 и зазвичай описується як міра, що пояснює силу регресії, тобто ступеня, до якої зміну залежної змінної можна передбачити по зміні незалежної змінної. В цьому дослідженні ці данні важливі, бо потрібно було передбачити температуру ядра, тобто незалежну змінну, ґрунтуючись на температурі, що було отримано від тепловізора – залежної змінної. Найбільш надійна регресія – це та, котра має R-квадрат, близький до 1, і навпаки ROC-крива – це графік справжніх позитивних і хибних результатів, зазвичай у випробуванні діагностичного тесту. Цей спосіб допоможе клінічному досліднику отримати доступ до інформації про те, наскільки точним являється конкретний лабораторний тест для виявлення випадків лихоманки. Також це важливо при аналізі тесту з двома популяціями, одна з яких з лихоманкою, а інша без, так як рідко буває, що між двома популяціями є ідеальне і чітке розділення.

З регресійного аналізу стало відомо, що конкретною областю поверхні шкіри, котра надає найбільш стійкі результати щодо температури ядра, виявилась область навколо очей (Рисунок 1.4). Якщо точніше, то це максимальна температура в області очей. Це можна дізнатися за коефіцієнтом визначення, який становить 0,5509. Варто зауважити, що для тих, хто носить контактні лінзи, при скринінгу температури у внутрішньому куточку ока, їх очні яблука з лінзами не впливатимуть на температурні профілі.

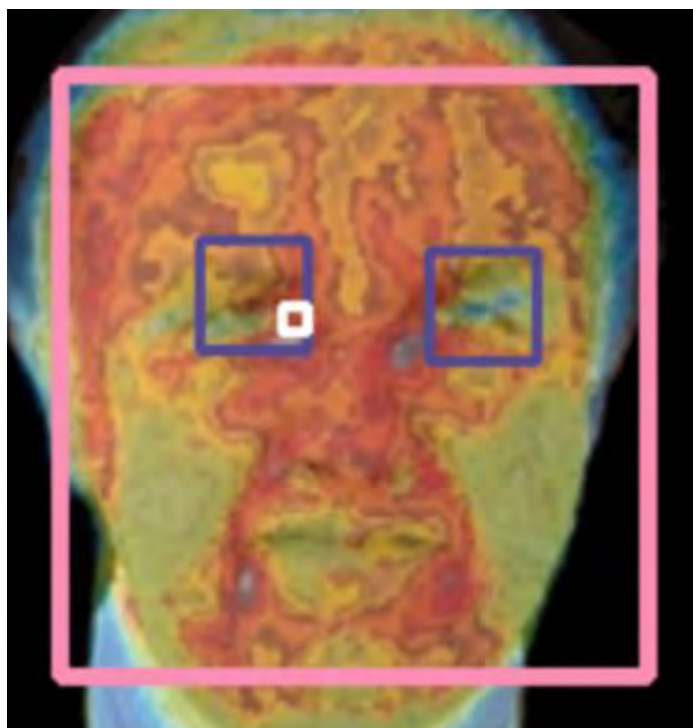


Рисунок 1.4 Термограма, на якій показана область з найбільш стійкими результатами температури

Спираючись на медичні факти, боки очних впадин прохолодніші, ніж інші частини тіла. Також підбиваючи підсумки даного дослідження прийшли до висновку, що мінімальна температура в баласті очей не дала такої високої консистенції, де коефіцієнт детермінації становить всього 0,0622. Аналогічний аналіз був проведений і в області чола. Максимальна температурне пляма дає коефіцієнт визначення 0,4974, а мінімальне температурне пляма - 0,1170. Таким чином, область очного діапазону дозволяє краще корелювати (або контролювати) температуру тіла. Також важливим фактором є те, що навколо очі розташовано досить багато артерій (офтальмологічна артерія знаходиться в безпосередній близькості від слізного карункулу і пов'язана з зоровим нервом). Таким чином, невелика ділянка шкіри поблизу очей і носа є найкращою для вимірювання температури ядра тіла, так як тонка шкіра в цій області має

найбільшу кількість світлової енергії, що робить її кращою точкою входу в тунель температури головного мозку.

## 1.2. Комплексування зображень

Метою комплексування зображень є підвищення інформативності результуючого зображення на основі перетворення двох або більше початкових зображень, що дає в результаті зменшення впливу перешкод. Комплексування використовують у медицині, трекінгу погоди, трекінгу змін [11].

Комплексування зображень в залежності від вхідних даних поділяють [12]:

- комплексування зображень одного типу, наприклад, зображення однакового діапазону хвиль у спектрі та з різних точок спостереження (англ. *multiview image fusion*);
- комплексування різнотипних зображень, як наприклад, комплексування зображення у видимому діапазоні довжин хвиль та зображення в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль спектру (англ. *multimodal image fusion*);
- комплексування зображень, що отримані у різний час, це необхідно, наприклад, для виявлення змін (англ. *multitemporal image fusion*);
- комплексування зображень для яких було встановлено об'єкти з різними фокусними відстанями (англ. *multifocus image fusion*);
- комплексування зображень одного плану для зменшення шумів та дефектів (англ. *fusion for image restoration*);
- комплексування для отримання кращої роздільної здатності зображення результату (англ. *super resolution image fusion*).

Комплексування по типу методів можна поділити на такі групи (Рисунок 1.5): комплексування на рівні пікселів; комплексування на рівні ознак; комплексування на рівні рішень.

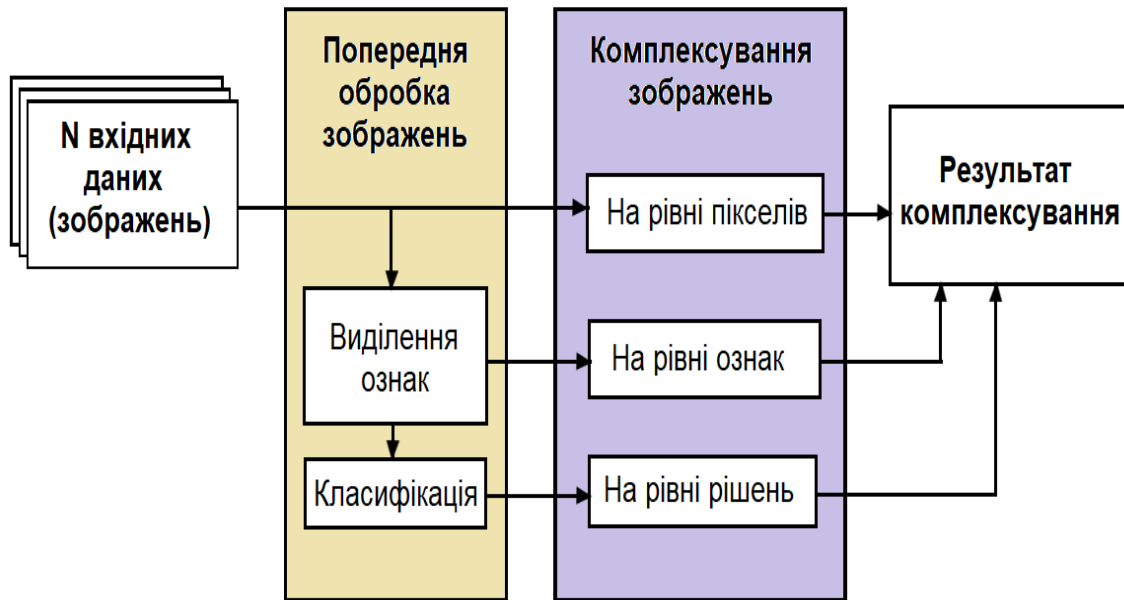


Рисунок 1.5 Схема комплексування зображень для трьох груп: комплексування на рівні пікселів, комплексування на рівні ознак, комплексування на рівні рішень

Найпоширенішими методами є методи комплексування на рівні пікселів, це спричинено їх простотою в порівнянні з іншими. Комплексоване зображення отримується шляхом виконання математичних операцій над пікселями вхідних зображень.

Комплексування на рівні ознак виділяє об'єктами для операцій вже певні характерні області. Виділення таких областей виконується незалежно в кожному вхідному зображенні. Методи з цієї групи розповсюджені менше, адже алгоритми досить ресурсовитратні та не існує універсального алгоритму сегментації та розпізнавання.



Найменш поширеною групою є комплексування на рівні рішень, що спричинено абстрактністю результату. Результатом такого методу є вже не комбіноване зображення, а деякий більш інформативний опис реальної картини.

У даній роботі було досліджено декілька методів комплексування зображень: метод максимуму, усереднення, черезрядкового комплексування та метод черезрядкового комплексування максимумів.

Метод максимуму полягає в заміні значення елемента зображення  $F_1(x, y)$  значенням зображення  $F_2(x, y)$ , якщо значення другого більші. Як результат, отримуємо результуюче зображення  $Z(x, y)$ , в якому знаходяться інформаційні ознаки зображення  $F_1$  та ярко виражені ознаки  $F_2$ . Метод максимуму реалізується на основі виразу (1.1) [13]:

$$Z(x, y) = \max \{ F_1(x, y), F_2(x, y) \} \quad (1.1)$$

Метод максимуму є одним з найпростіших в програмній реалізації серед методів комплексування. Він реалізується лише одним оператором порівняння і результат роботи (Рисунок 1.6) залежить лише від рівня яскравості зображень.

Метод черезрядкового комплексування можливо застосувати завдяки алгоритму на основі порядкового чергування рядків зображень. Цей метод реалізується шляхом складання зображень  $F_1(x, y)$  і  $F_2(x, y)$  з чергуванням непарних і парних рядків з номером  $N$ . Математичний вираз при цьому має вигляд:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N - 1 \\ F_2(x, y), & y \in 2, 4, 6, \dots, N \end{cases} \quad (1.2)$$

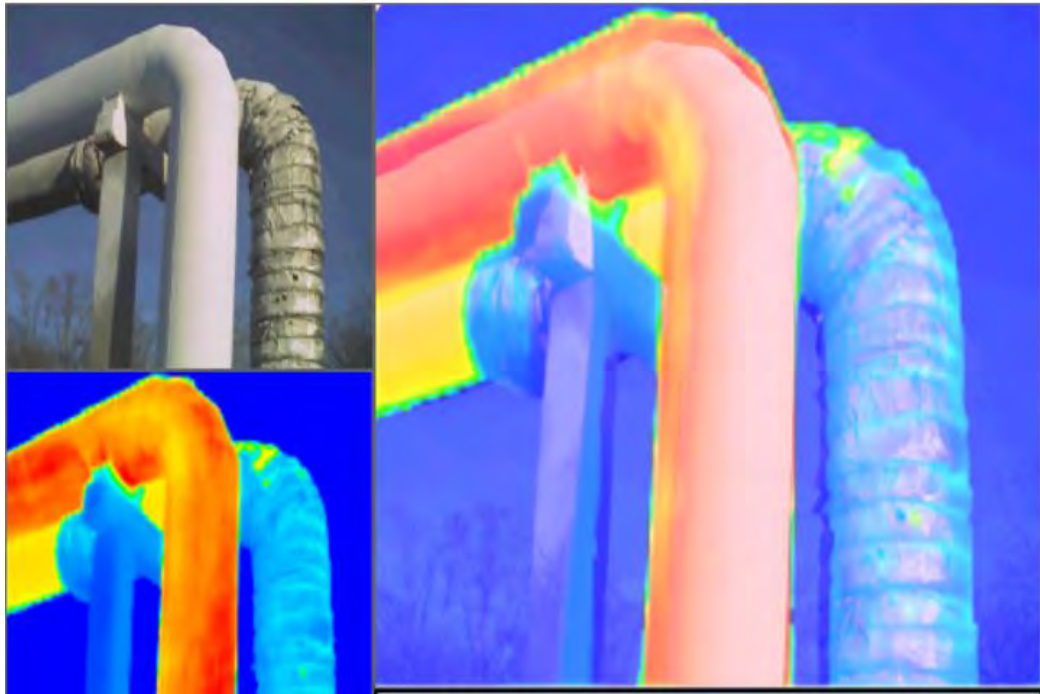


Рисунок 1.6 Результат комплексуювання зображень методом максимумів

Результат методу черезрядкового комплексуювання зображено на Рисунок 1.7.

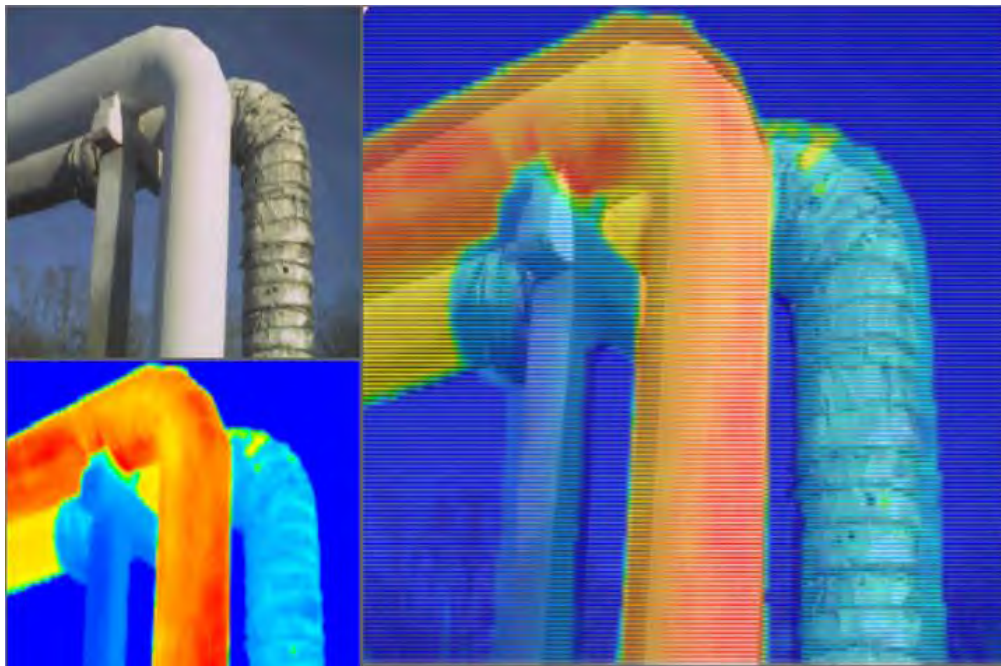


Рисунок 1.7 Результат комплексуювання зображень методом черезрядкового комплексуювання

Результатом методу усереднення  $Z(x, y)$  є зображення, що утворене на основі середнього арифметичного початкових зображень  $F_1(x, y)$ ,  $F_2(x, y)$ . Цей спосіб вимагає мінімум обчислювальних витрат і реалізується завдяки виразу (1.3):

$$Z(x, y) = \frac{F_1(x, y) + F_2(x, y)}{2} \quad (1.3)$$

В результаті комплексування отримуємо зображення () із згладженими деталями об'єктів. Контраст картини при цьому суттєво зменшується щодо початкових зображень, але відбувається зменшення рівня шумів.

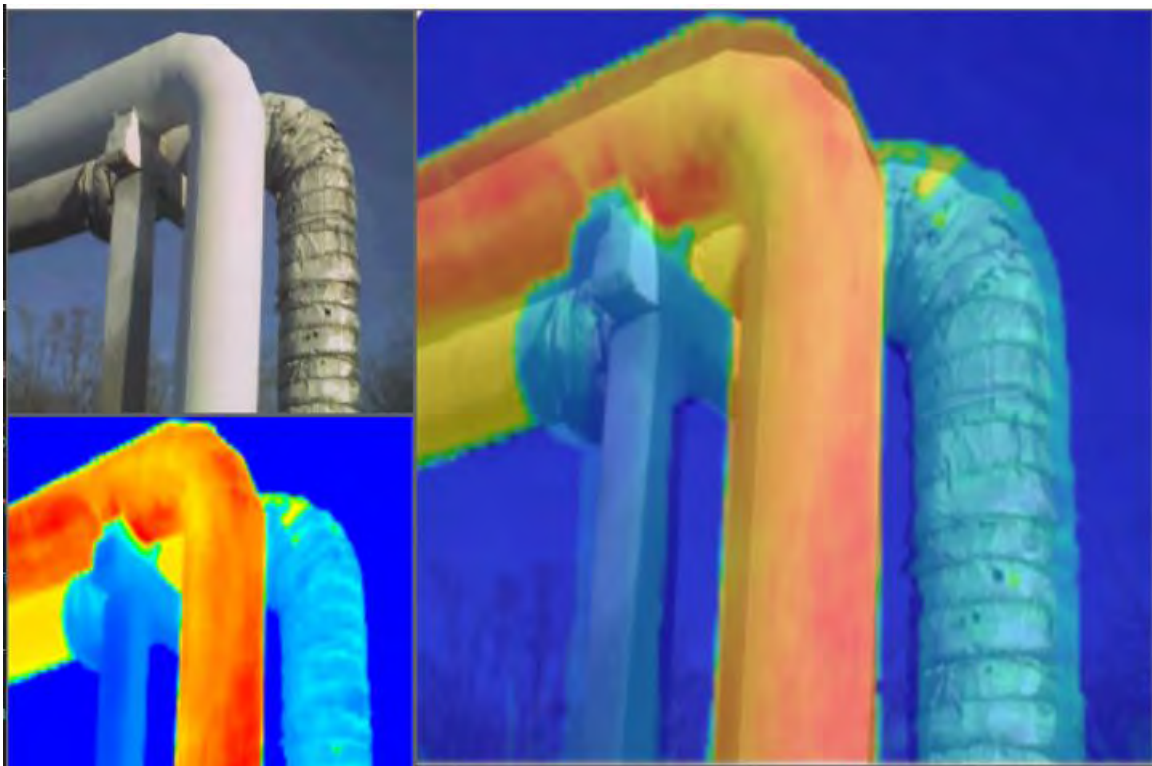


Рисунок 1.8 Результат комплексування зображень методом усереднення

Метод черезрядкового комплексування максимумів має той самий принцип роботи, що й метод черезрядкового комплексування, однак

кожний парний рядок є максимумом двох з обох зображень. Вираз (1.4), яким можна описати цей метод, наступний:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N - 1 \\ \max \{ F_1(x, y), F_2(x, y) \}, & y \in 2, 4, 6, \dots, N \end{cases} \quad (1.4)$$

Результат методу черезрядкового комплексування максимумів зображено на Рисунок 1.9.

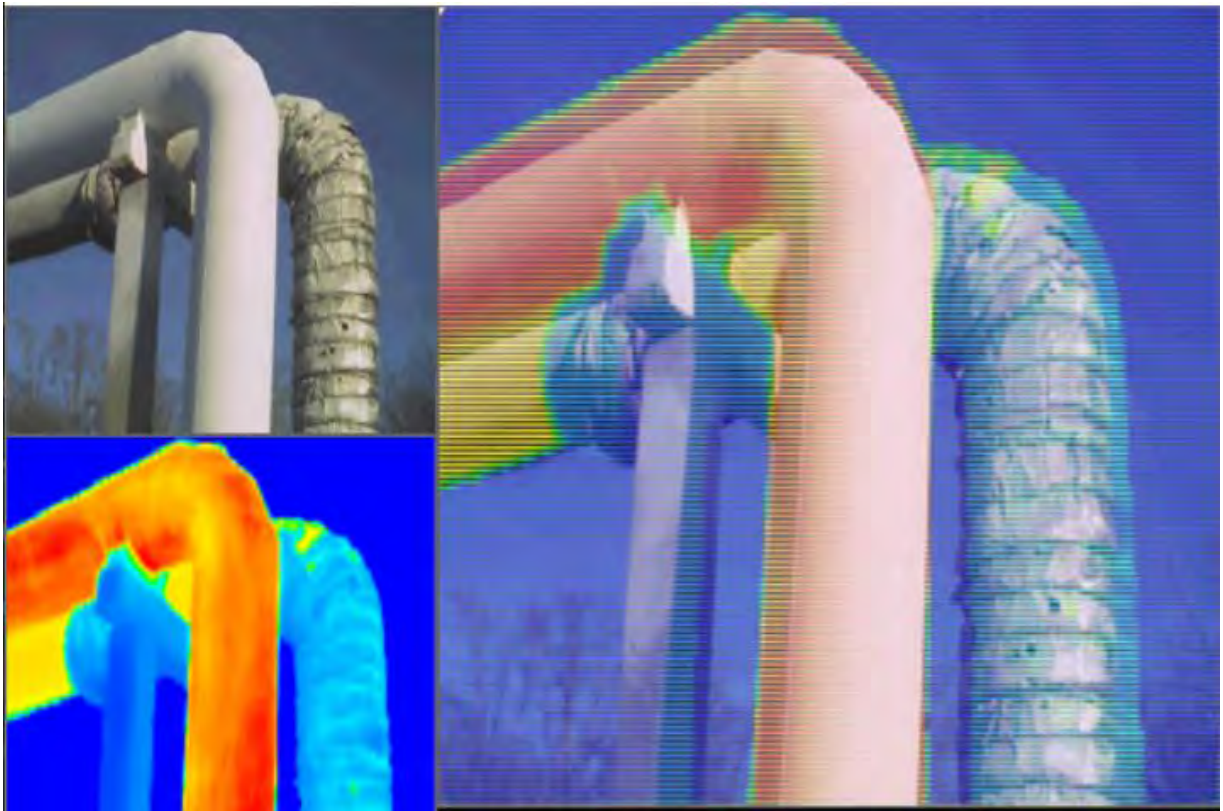


Рисунок 1.9 Результат комплексування зображень методом черезрядкового комплексування максимумів

Пороговий метод комплексування заснований на тому, що пікселі одного з зображень накладаються на друге зображення в тому випадку коли інтенсивність цього пікселя більше деякого порогу. Вираз , що описує цей метод (1.5):

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y) < T \\ F_2(x, y) > T \end{cases} \quad (1.5)$$

Результат комплексування пороговим методом можна побачити на Рисунок 1.10.

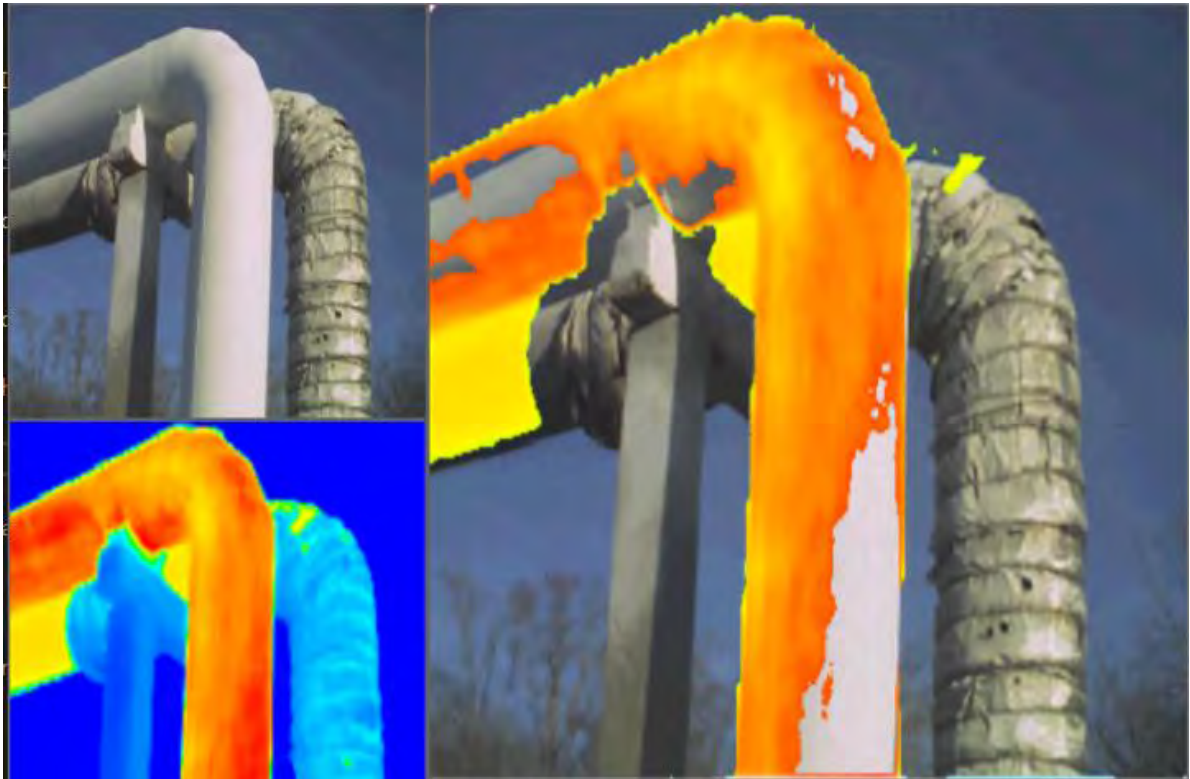


Рисунок 1.10 Результат комплексування зображень методом порогу

На Рисунок 1.11 добре видно головну проблему комплексування на рівні пікселів – просторову неузгодженість, її можна побачити на другому результаті комплексування. Тобто без просторової узгодженості неможливо отримати максимально точну комплексацію зображень. Такі точки повинні бути образами однієї і тієї ж ділянки сцени. Найважливішим параметром їх суміщення є тип характерних ознак зображення, на базі яких визначаються ключові точки.

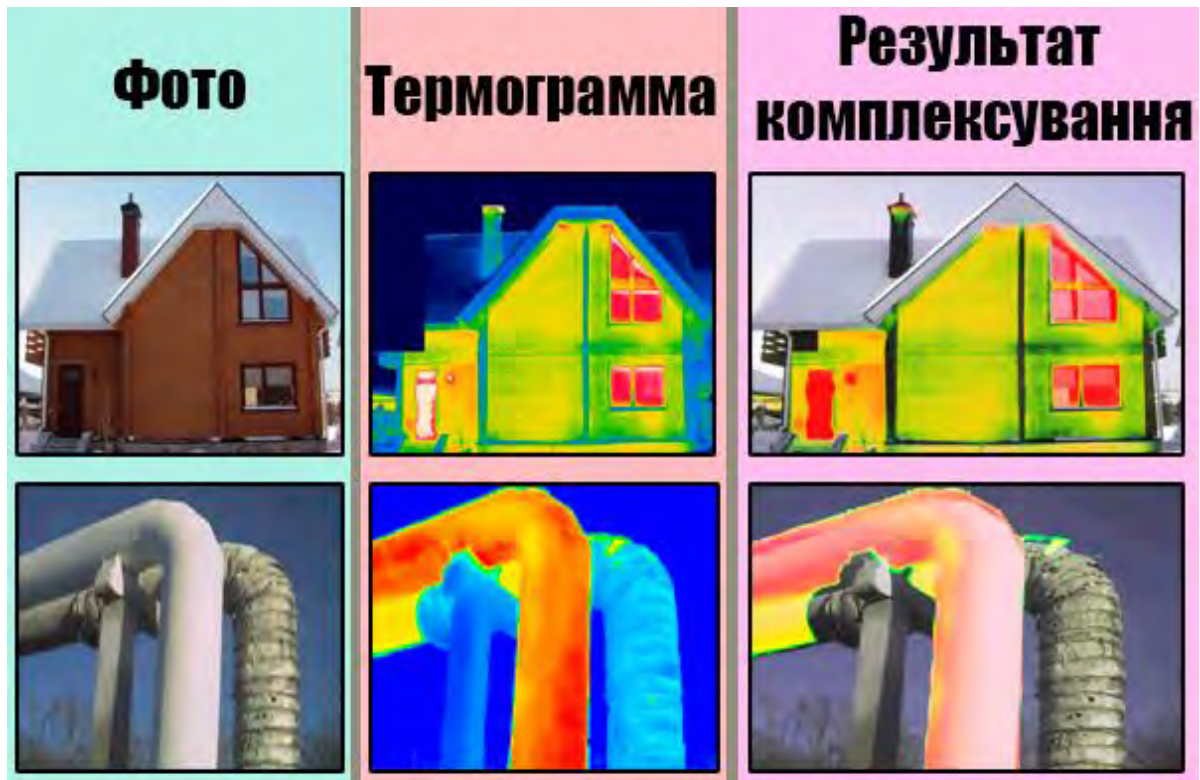


Рисунок 1.11 Результат комплексування зображення у видимому та інфрачервоному спектрах методом максимумів, що показує головну проблему комплексування

Для комплексування мультиспектральних даних, що отримані в різний час, необхідно визначити просторове ядро. Це необхідно щоб виконати прив'язку зображень – приведення до однієї системи координат множини зображень однієї сцени. Одним із способів отримання такого ядра є визначення однакових ключових точок зображення для усіх вхідних зображень та побудова матриці перетворення. Маючи інформацію про взаємне розташування схожих образів на зображеннях, оцінюється ступінь неузгодженості зображень і одне з них трансформується використовуючи афінне геометричне перетворення таким чином, щоб мінімізувати дану похибку. Афінне геометричне перетворення зберігає прямі лінії та відношення між ними, отже всі

точки, що лежали на прямій, продовжують лежати на прямій після перетворення [14].

Досить специфічним, однак розповсюдженим комплексуванням користуються в медицині. Це комплексування засновується на знаходженні однакових інформативних ознак на двох або більше зображеннях, проте після знаходження таких ознак зображення не поєднують в одне результуюче зображення. Наприклад, на ринку медичних томографів є декілька систем, що підтримують дане комплексування. В цих томографах комплексують данні з ультразвукового сканера та комп'ютерного томографа або магнітно-резонансного томографа (Рисунок 1.12) [15].

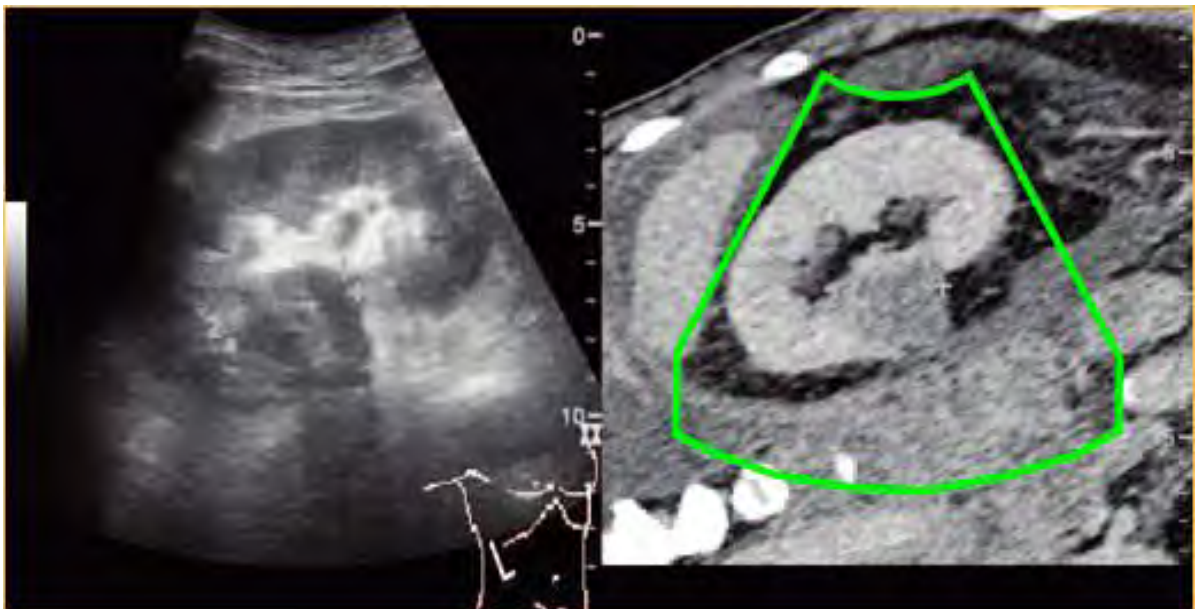


Рисунок 1.12 Результат комплексування ультразвукової (ліворуч) та комп'ютерної (праворуч) томограм

В таких системах комплексування виконується динамічно під час ультразвукового обстеження. Данні томографи підтримують з поєднанням зображень, однак зазвичай їм не користуються.

В підтвердження ефективності даного підходу можна привести декілька досліджень. В дослідженні [16] використовувалось

комплексування ультразвукової та комп'ютерної томографії для характеристики ураження печінки. Це дослідження показало, що даний метод дозволяє краще виявляти та класифікувати місцеві ураження печінки. В роботі [17] оцінювали ефективність такого комплексування. Дослідження проводилося на трупах та пацієнтах, що страждали від крижово-клубового захворювання, лікується дане захворювання ін'єкцією в крижово-клубовий суглоб. Автори отримали високоточний результат та переконалися у тому, що комплексування здатно допомогти розширити можливості лікарів.

Через те, що результатам комплексування є синтез (не завжди) нового зображення, використання більшості стандартних метрик для оцінювання обробки неможна, адже вони використовують еталонні зображення, які при комплексуванні відсутні. Тому доцільно використовувати без еталонні оцінки такі, як запропоновані Ксайдісом і Петровічем (С. S. Xydeas, V. Petrović), яка ґрунтується на ефективності перенесення градієнта з вхідних зображень на комплексоване та метрику, запропоновану Цвеїчем та Лозою, що працює за принципом блочного порівняння вхідних зображень з результатом комплексування для оцінки ефективності перенесення інформації на результат комплексування вхідних зображень.

У Державному науково-дослідному інституті авіаційних систем у результаті багаторазових експериментів по комплексуванню зображень на рівні векторів достовірності виявилось можливим зробити наступні висновки [18]:

- комплексування зображень завжди забезпечує більш високу вірогідність розпізнавання, ніж кожен з каналів окремо. При відмові одного з каналів рішення практично приймається по каналу, що залишився діючим;



- при комплексуванні за методом Демпстера-Шафера більша вага надається показаннями каналу з меншим коефіцієнтом невпевненості;
- при появі перешкод високої інтенсивності комплексування на рівні векторів достовірності дозволяє прийняти рішення навіть тоді, коли ні по одному з каналів окремо його прийняти неможливо.

### 1.3. Оцінка якості сегментації зображень

Критерії якості сегментації, які використовуються для оцінки алгоритмів дають кількісну міру відмінностей роботи алгоритму. Одним з таких критеріїв є порівняння результуючого зображення з деяким еталоном, який створено вручну або автоматично при генерації синтетичного зображення [19]. Ці критерії можна використати для оцінки якості сегментації після комплексування зображення.

Найлегше використовувати міру, яка показує відсоток неправильно класифікованих пікселів.

Перший спосіб застосування цього критерію – відсоткове відношення неправильно класифікованих пікселів даного  $k$ -го класу до загальної кількості пікселів цього класу на еталонному зображенні (1.6):

$$M_1^k = \frac{\left( \sum_{i=1}^n C_{ik} \right) - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n C_{ik}}, \quad (1.6)$$

де  $n$  – кількість пікселів;  $C_{kk}$  – кількість правильно класифікованих пікселів  $k$ -го класу;  $\sum_{i=1}^n C_{ik}$  – реальна кількість пікселів  $k$ -го класу.

Другий – це відсоткове відношення пікселів, помилково зарахованих до даного  $k$ -го класу, до загальної кількості пікселів інших класів на еталонному зображенні [20] (1.7):

$$M_2^k = \frac{\left( \sum_{i=1}^n C_{ki} \right) - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik} - \sum_{i=1}^n C_{ik}}, \quad (1.7)$$

де  $m$  – кількість класів;  $\sum_{i=1}^n C_{ki}$  – кількість пікселів, класифікованих  $k$ -м

класом;  $\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik}$  – загальна кількість пікселів на зображенні.

#### 1.4. Оцінка інформативності зображення

На сьогодні найбільш достовірним методом оцінювання інформативності зображення, де не відомий контекст (сюжетний зміст), є метод експертних оцінок. Недоліками цього методу є:

- трудомісткість;
- значні грошові витрати;
- не можливість використання даних оцінки для корекції зображення в реальному часі.

Через ці недоліки дослідники намагаються знайти математичний спосіб оцінки інформативності зображень.

Одним з таких методів оцінки інформативності  $I$  є обчислення ентропії по Шенону за допомогою формули (1.8) :

$$I_E = E(A), \quad (1.8)$$

де  $A$  – зображення.

При такій оцінці можна досить точно оцінити інформативність, однак лише при відсутності шумів та дефектів на зображенні.

Широко також застосовуються методи порівняння з еталонним зображенням, але такий метод не можна використовувати при комплексуванні образень, бо в більшості випадків результатом комплексування є поєднання декількох зображень.

Також існують оцінки які використовують для розрахунку інформативності декілька параметрів. Наприклад, було запропоновано мультикритерійний показник, що враховує такі параметри:

- $E$  – ентропію зображення;
- $L$  – середнє значення яскравості;
- $\sigma$  – середньо-квадратичне відхилення від середньої яскравості зображення;
- $H$  – кількість градацій яскравості;
- $K$  – контраст.

Даний мультикритерійний показник має вигляд (1.9):

$$I_{ISI} = \omega_1 L + \omega_2 \sigma + \omega_3 K + \omega_4 H + \omega_5 E, \quad (1.9)$$

де  $\omega_i = \frac{2(N-i+1)}{N(N+1)}, i = \overline{1, N}$  – вагові коефіцієнти по критерію

Фішбена.

Як видно з формули вагових коефіцієнтів по критерію Фішбена, ваги є різними для всіх критеріїв та кожен наступний показник матиме менший вплив на результат ніж попередній.

## 1.5. Аналоги розроблюваної системи

### 1.5.1. ПЕРГАМЕД-Бар'єр

Російський тепловізор для дистанційного температурного епідеміологічного контролю «ПЕРГАМЕД-Бар'єр» (Рисунок 1.13). Комплекс призначений для автоматичного безконтактного визначення людей з підвищеною температурою в рухомому потоці. «Пергамед Бар'єр» можна інтегрувати в систему безпеки об'єкта, обмежити доступ або отримувати тривожні сигнали при виявленні порушника. Поріг чутливості налаштовується в залежності від об'єкта контролю [21].



Рисунок 1.13 Тепловізор «ПЕРГАМЕД-Бар'єр»

На відміну від портативних аналогів здатний одночасно аналізувати температуру необмеженого числа людей, що знаходяться в полі зору об'єктива камери. Встановлюється на стелю, стіну або триногу. Автоматично зберігає потенційно хворих в базу даних. Відеокамера розпізнає обличчя людей, ПО обробляє і синхронізує відеозображення з відеокамери і тепловізора (Рисунок 1.14). У разі тривоги, автоматично формується сторінка акту (звіту) із зазначенням часу і місця, а також фотографією і температурою людини. Звіт зберігається в базі даних і може бути роздрукований.

Робота комплексу «Пергамед-Бар'єр» заснована на високочутливому тепловізорі (з точністю до 0,04 °C) і унікальному програмному забезпеченні. Данна камера з високою роздільною здатністю, що входить до складу комплексу, спільно з ПО дозволяє миттєво розпізнавати обличчя і автоматично формувати звіти для операторів з прив'язкою до часу і місця. Система розпізнавання обличчя виключає формування повторних тривожних повідомлень.



Рисунок 1.14 Інтерфейс програми «ПЕРГАМЕД-Бар'єр»

Функціональні можливості «ПЕРГАМЕД-Бар'єр»:

- Автоматизований дистанційний контроль і виявлення осіб з підвищеною температурою тіла в рухомому потоці людей на пунктах пропуску;
- Висновок на панель тривожних подій із зображенням осіб, у яких перевищена температура тіла вище заздалегідь заданого оператором межі (при цьому програється заздалегідь завантажена аудіозапис або звукове сповіщення);
- Архівування та відтворення записів переміщення осіб через зону контролю в пункті пропуску з IP відеокамери і тепловізора синхронізоване з архівом подій бази даних (з видачею звітів). Склад обладнання повинен забезпечувати зберігання даних, отриманих протягом не менше 100 годин роботи Комплексу

#### 1.5.2. Тепловізор Dahua

Тепловізор Dahua (Рисунок 1.15) з дистанційним виміром температури тіла. Тепловізор одночасно працює в інфрачервоному і видимому діапазоні. Точність вимірювання тепловізора  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ , тому пристрій ідеально підходить для безконтактного вимірювання температури тіла в місцях масового скупчення людей (Рисунок 1.16), на підприємствах, школах, лікарнях, офісних будівлях і аеропортах в умовах епідемії [22].



Рисунок 1.15 Тепловізор Dahua

Основний компонент камери - це детектор на основі оксиду ванадію, за допомогою якого відбувається безпомилкове зчитування температури в діапазоні від 30 до 45 градусів на відстані. При цьому дозвіл зйомки відеокамери невеликий, проте тут воно не відіграє жодного значення - на екрані монітора відображається лише інфрачервоне зображення, розібрати деталі осіб або одягу практично неможливо. Для того, щоб вчасно повідомити про людину з підвищеною температурою тіла, камера обладнана сиреною, а для того, щоб впровадити її в систему безпеки, модель має велику кількість налаштувань і вбудованих інтерфейсів. Тут і аналоговий відеовихід, і мережевий інтерфейс, і виходи для аудіо тривоги, і RS-485. Корпус камери надійно захищений від пилу, вологи, ударів і електростатики, але на морозі її краще не використовувати, по-перше, так можуть бути похибки у вимірюваннях, а по-друге виробник рекомендує встановлювати її в приміщеннях з мінімальною температурою 10 градусів вище нуля.



Рисунок 1.16 Інтерфейс програми для роботи з тепловізором Dahua

### 1.5.3. Тепловізор Hikvision

Відеокамера-тепловізор DS-2TD2636B-15 / P може не тільки фіксувати температуру, але і визначати людські обличчя з власної бази зображень. Для того, щоб виміряти температуру людей, що потрапили в об'єктив - не обов'язково їх наявність в базі даних. Тобто, навіть в публічних місцях - аеропортах, вокзалах, офісних або торгових центрах ці камери будуть працювати абсолютно коректно. Додатковими перевагами даного рішення є ще й те, що камера може: - працювати як з чорним тілом, так і без нього; - визначати обличчя в масці і без (Рисунок 1.17); - міряти температуру до 30-ти чоловік відразу з похибкою до 0,3 градуса; Звісно, ця відеокамера - проектне рішення, яке може бути застосовано тільки для об'єктів з великих людських трафіком - функціональність і ціна такої системи на порядок вище звичайних моделей. Однак в якості компонента епідеміологічного контролю на КПП вокзалів і аеропортів - цей пристрій незамінний [23].

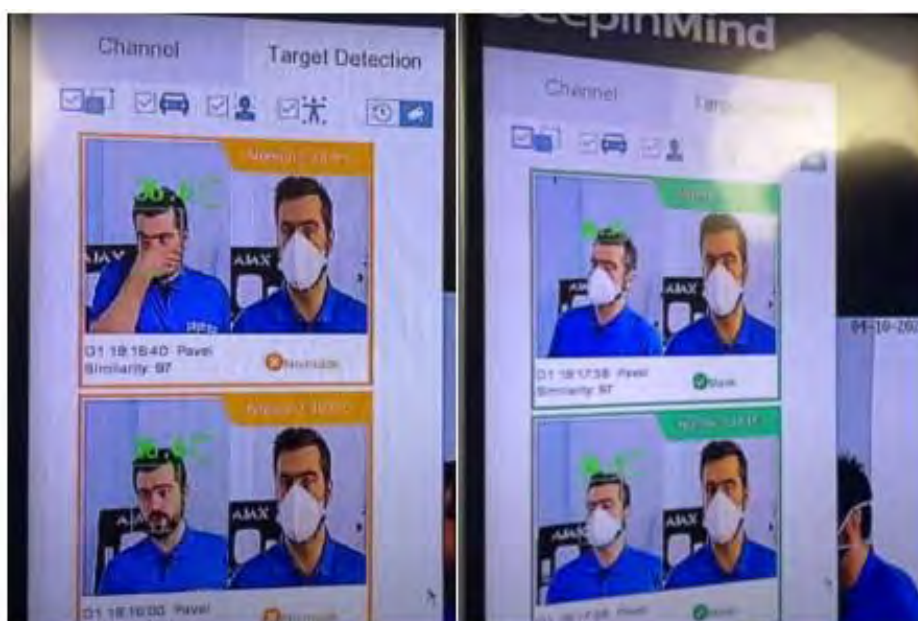


Рисунок 1.17 Приклад роботи тепловізора Hikvision в визначенні маски



## Висновки до розділу 1

У цьому розділі на основі багатьох публікацій було доведено, що своєчасне виявлення хворих та їх ізоляція найкращий спосіб запобігання розвинення пандемії будь-якого захворювання.

Як показник можливого пацієнта було обрано температуру тіла. Людство вже більше 100 років вимірює температуру тіла для виявлення хвороби. Підвішена температура тіла в більшості випадків викликана інфекційними захворюваннями.

Як було виявлено, на основі іноземних публікацій, областю яка найбільш корелює своєю температурою з температурою вуха є ділянка біля очей. Ефективне вимірювання температурної кривої потоку людей стандартними засобами, такими як, термометри та пірометрами – неможливе. Тому, як засіб для вимірювання температури, було обрано тепловізор. Однак, алгоритмів для точного пошуку області очей на термограмі не існує. Тому вирішено було використати властивості комплексування інформації зображень інфрачервоного та видимого діапазону довжин хвиль спектру. Тобто знаходити область очей стандартними нейронними мережами на видимому зображенні та переносити ці данні на термограму, шляхом комплексування інформативних параметрів цих зображень.

Також у розділі було описано роботи, де доведено підвищення інформативності результуючих зображень в порівнянні з вхідними. Представлено теоретичний матеріал по оцінці якості сегментації та оцінці інформативного параметра зображень.

Проведено патентний пошук аналогів розроблюваної системи. Та приведено їх основний функціонал та характеристики, які в роботі будуть модернізовані додаванням пошуку обличчя та очей нейронною мережею та візуальним комплексуванням зображень.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

Для вирішення задачі точного масового скринінгу температури тіла людей будемо використовувати метод мультиспектральне комплексування, тобто поєднання інформативних параметрів зображень різних спектральних діапазонів.

Необхідно виконати проектування та синтез двох оптичних каналів: телевізійного та інфрачервоного [24].

Для розробки оптичного тракту доцільно використовувати програму «ZEMAX». Ця програма має широкий функціонал для моделювання, оптимізації та аналізу оптичних систем, що надає всі інструменти, необхідні для розробки невеликої по габаритним розмірам та водночас високотехнологічної оптичної системи [25-28].

### 2.1. Розробка ТВ каналу

Конструктивні параметри, такі як: радіус оптичної поверхні, світловий діаметр, відстань по оптичній осі, задаються в таблицю «Lens data editor» (Рисунок 2.1).

Surf>Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity
1	Standard	Infinity	2.000000	LZ_LF5	11.759280
2	Standard	Infinity	2.000000		11.650232
STO	Standard	27.526648 V	3.645000	LZ_TK14	11.705509
4	Standard	-302.139087 V	5.616000		11.606605
5	Standard	-42.688744 V	1.417500	LZ_LF5	10.595221
6	Standard	23.171697 V	6.817500		10.371898
7	Standard	468.045000	2.970000	LZ_OF1	11.440454
8	Standard	22.950000	6.345000	LZ_TK14	12.406484
9	Standard	-31.860000	61.039815		12.425306
IMA	Standard	Infinity	-		6.323546

Рисунок 2.1 Таблиця конструктивних параметрів ТВ каналу

Візуалізація синтезованої оптичної системи на основі «пустотілого» (Рисунок 2.2) та «тіньового» (Рисунок 2.3) зображень.

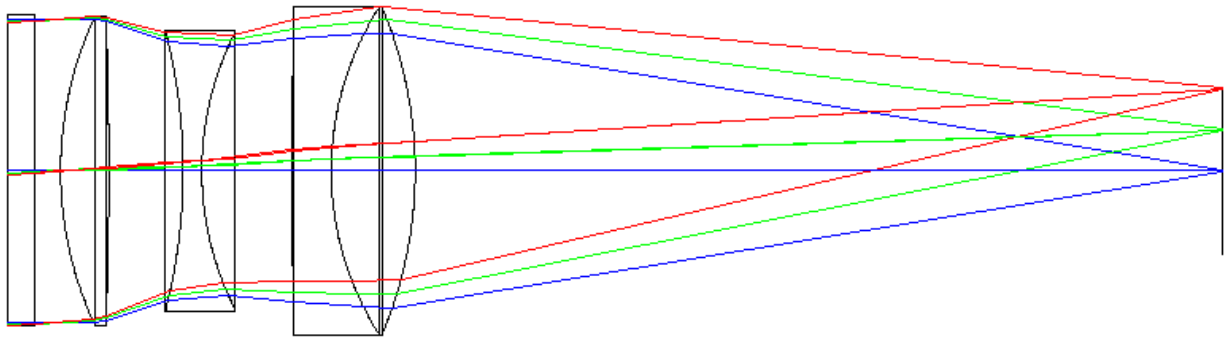


Рисунок 2.2 Тривимірне «пустотіле» зображення ТВ каналу

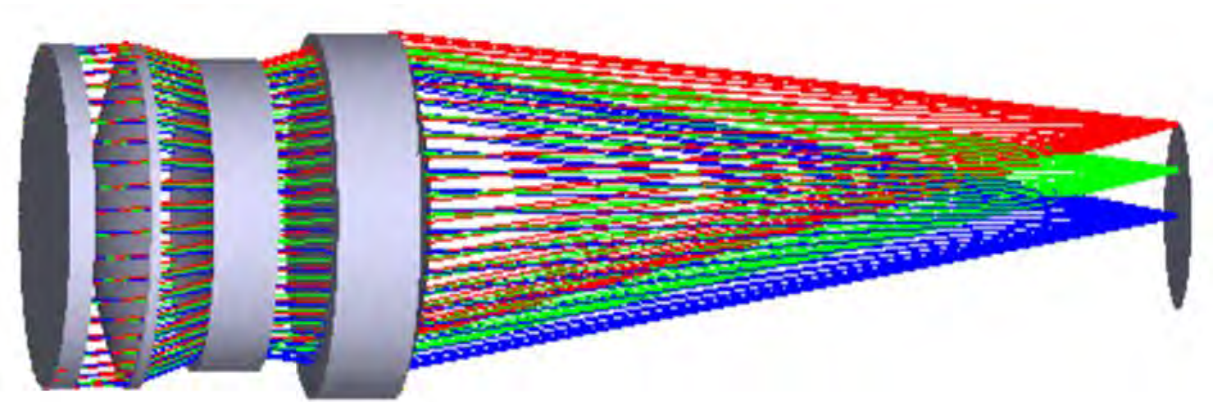


Рисунок 2.3 Тривимірне «тіньове» зображення ТВ каналу

Програма «ZEMAX» здатна розрахувати основні характеристики змодельованої оптичної системи, ці характеристики зображено на Рисунок 2.4 [29].

GENERAL LENS DATA:

```
Surfaces          :          10
Stop              :           3
System Aperture   : Entrance Pupil Diameter = 22.95
Glass Catalogs    : SCHOTT LZOS
Ray Aiming        : Off
Apodization       : Uniform, factor = 0.00000E+000
Temperature (C)   : 2.00000E+001
Pressure (ATM)    : 1.00000E+000
Effective Focal Length : 70.60382 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 70.60382 (in image space)
Back Focal Length : 61.38325
Total Track       : 91.85081
Image Space F/#   : 3.076419
Paraxial Working F/# : 3.076419
Working F/#       : 3.088079
Image Space NA    : 0.1604217
Object Space NA   : 1.1475e-009
Stop Radius       : 11.475
Paraxial Image Height : 6.177034
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 22.95
Entrance Pupil Position : 3.249334
Exit Pupil Diameter : 31.05108
Exit Pupil Position : -95.1827
Field Type        : Angle in degrees
Maximum Field     : 5
Primary Wave      : 0.4
Lens Units        : Millimeters
Angular Magnification : 0.7391047
```

Рисунок 2.4 Характеристики ТВ каналу

Для ТВ каналу був обраний приймач зображення S7170-0909 Namamatsu. Основні характеристики приймача випромінювання:

- Кількість активних пікселів –  $512 \times 512$ ;
- Розмір пікселів –  $24 \times 24 \mu\text{m}$ ;
- Розмір чутливої площадки –  $12.288 \times 12.288 \text{ mm}$ .

Якість розробленої системи можна оцінити завдяки вбудованим функціям ZEMAX «Geometric Image Analysis» (Рисунок 2.5) та «Geometric Bitmap Image Analysis» (Рисунок 2.6).

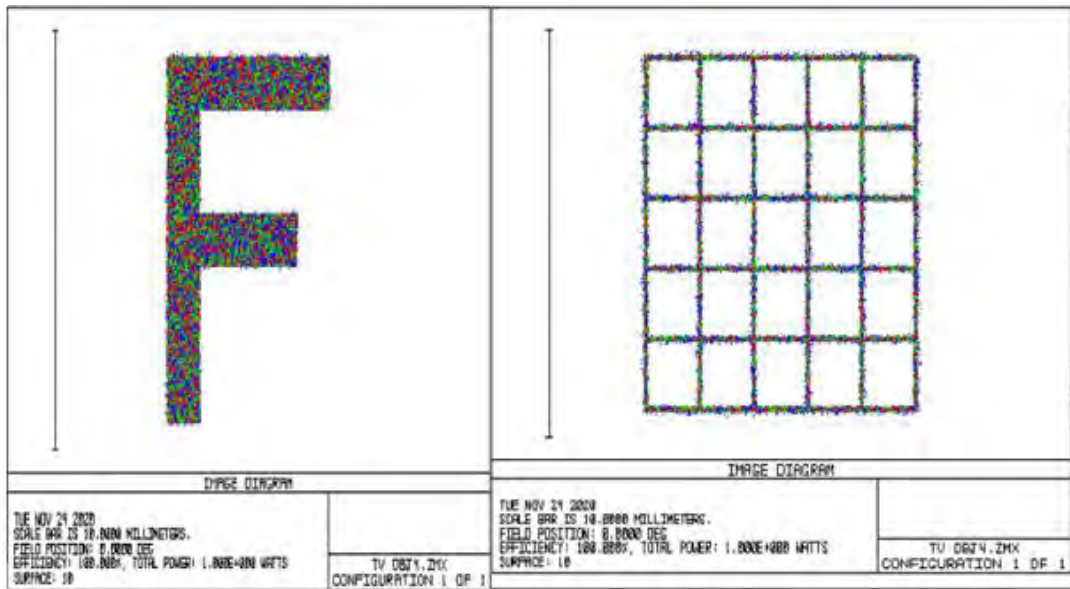


Рисунок 2.5 Зображення функції «Geometric Image Analysis» ТВ каналу

Як видно з результатів роботи вбудованих функції програми «ZEMAX», оптична система має досить чітке зображення, якого достатньо для вирішення поставленої задачі. Якість та розмір зображення узгоджено з параметрами багатoelementного приймача випромінювання.

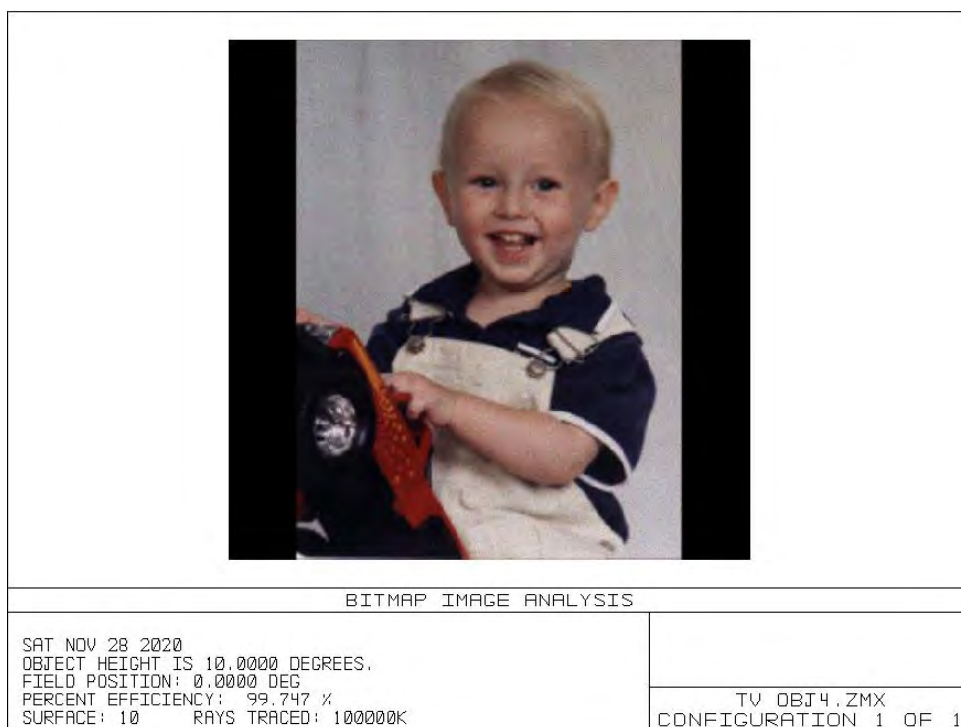


Рисунок 2.6 Змодельоване зображення, що сформовано ТВ каналом

## 2.2. Розробка ІЧ каналу

Конструктивні параметри ІЧ каналу зображено на Рисунок 2.7.

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
1	Standard		Infinity	2.000000	GERMANIUM	20.218628
2	Standard		Infinity	2.000000		20.175133
STO	Standard		48.074734 V	4.001507 V	GERMANIUM	20.397239
4	Standard		74.922292 V	23.458853 V		19.718250
5	Standard		727.184028 V	3.000000	GERMANIUM	9.569548
6	Standard		54.569085 V	25.000993 V		9.124333
7	Standard		18.829403 V	2.122576 V	GERMANIUM	9.853433
8	Standard		23.572222 V	8.224217 V		9.303389
IMA	Standard		Infinity	-		6.344506

Рисунок 2.7 Таблиця конструктивних параметрів ІЧ каналу

Вигляд «пустотілого» (Рисунок 2.8) та «тіньового» (Рисунок 2.9) зображення ІЧ каналу.

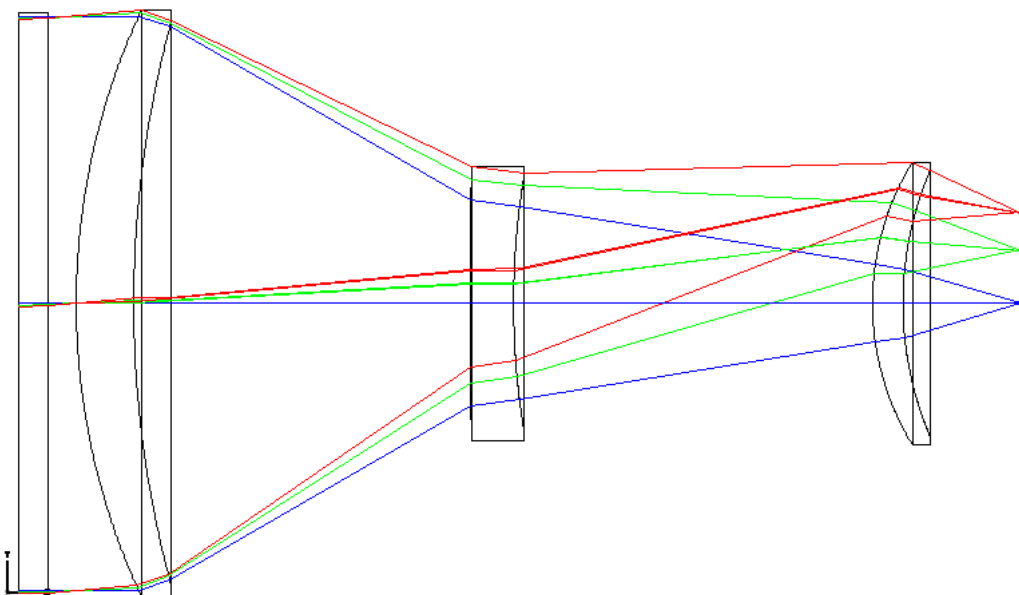


Рисунок 2.8 Тривимірне «пустотіле» зображення ІЧ каналу

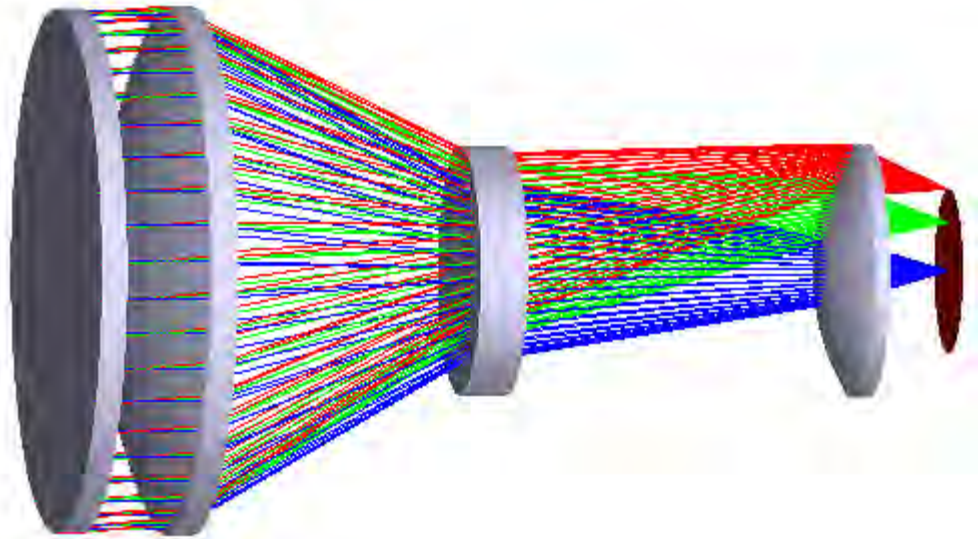


Рисунок 2.9 Тривимірне «тіньове» зображення ІЧ каналу

Характеристики синтезованого ІЧ каналу, розраховані програмою «ZEMAX» (Рисунок 2.10).

```

GENERAL LENS DATA:

Surfaces          :          9
Stop              :          3
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 40
Glass Catalogs   : SCHOTT INFRARED
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.00000E+000
Temperature (C)  : 2.00000E+001
Pressure (ATM)   : 1.00000E+000
Effective Focal Length : 70.1965 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 70.1965 (in image space)
Back Focal Length : 8.170809
Total Track      : 69.80815
Image Space F/#  : 1.754912
Paraxial Working F/# : 1.754912
Working F/#     : 1.757533
Image Space NA   : 0.2740099
Object Space NA  : 2e-009
Stop Radius     : 20
Paraxial Image Height : 6.141398
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 40
Entrance Pupil Position : 2.498928
Exit Pupil Diameter : 35.2307
Exit Pupil Position : 61.77338
Field Type      : Angle in degrees
Maximum Field   : 5
Primary Wave    : 7
Lens Units      : Millimeters
Angular Magnification : -1.135374
  
```

Рисунок 2.10 Скорочені характеристики ІЧ каналу

Для ІЧ каналу був обраний приймач зображення S9978 Hamamatsu.

Характеристики приймача випромінювання:

- Кількість активних пікселів –  $512 \times 512$ ;
- Розмір пікселів –  $24 \times 24 \mu\text{m}$ ;
- Розмір активної площадки –  $12.288 \times 12.288 \text{ mm}$ .

Після моделювання самої системи отримані такі діаграми та параметри: діаграма освітленості (Рисунок 2.11), модуляційна передавальна функція, функція концентрації енергії, діаграми кружків розсіювання для різних кутів поля зору [30-34].

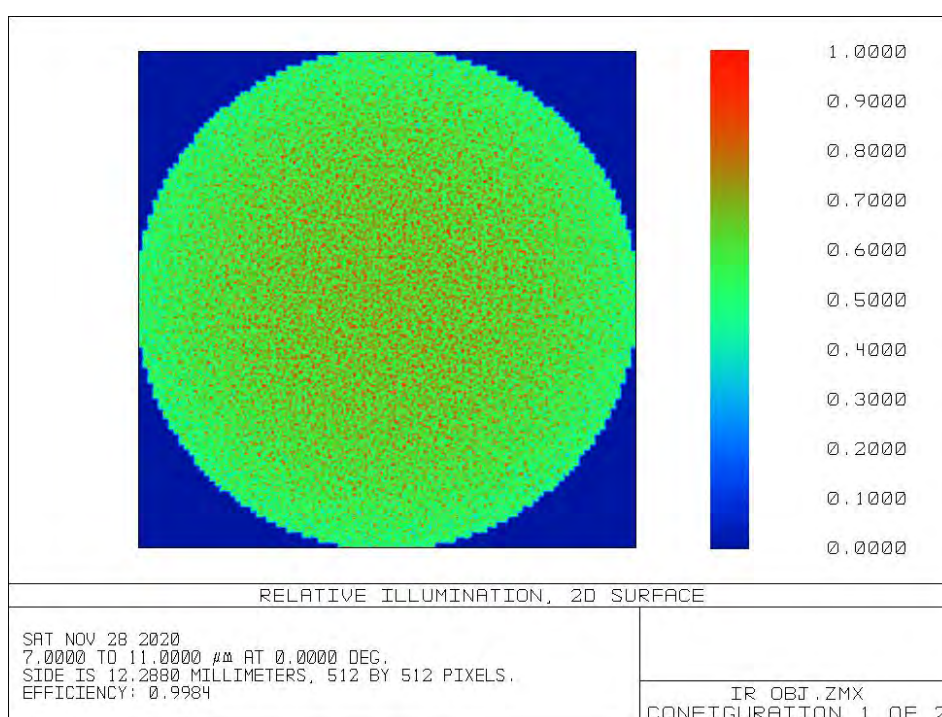


Рисунок 2.11 Діаграма освітленості ІЧ каналу

Як видно з діаграми освітленості ІЧ каналу, ефективність системи становить майже 100%.

Модуляційна передавальна функція (Рисунок 2.12) показує просторово-частотні властивості ОС, тобто характеризує контраст зображення, сформованого оптичною системою [35-36].



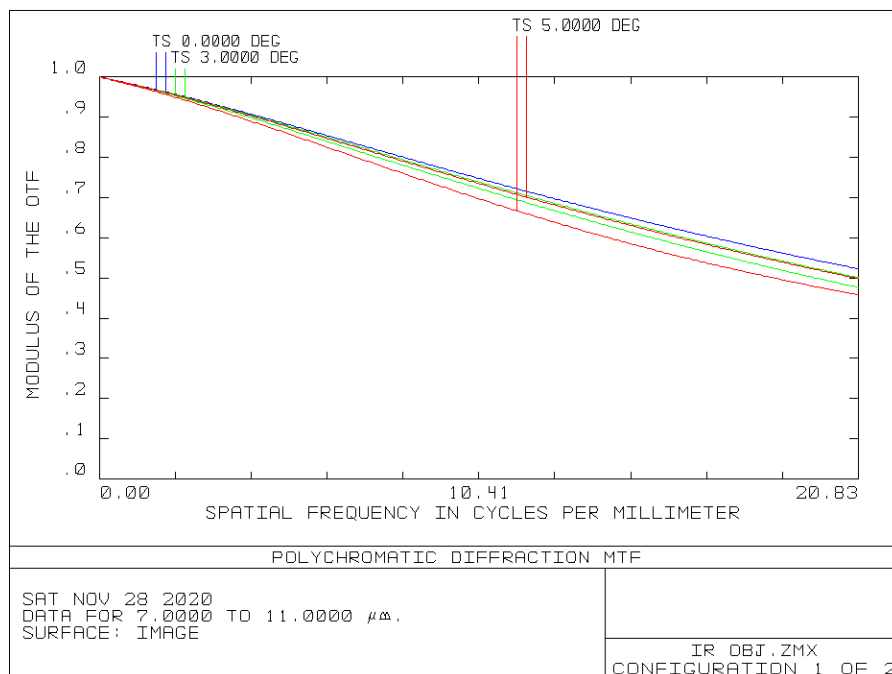


Рисунок 2.12 Модуляційна передавальна функція ІЧ каналу

Для отримання функції концентрації енергії (Рисунок 2.13) ZEMAX має вбудовану функцію «Encircled Energy».

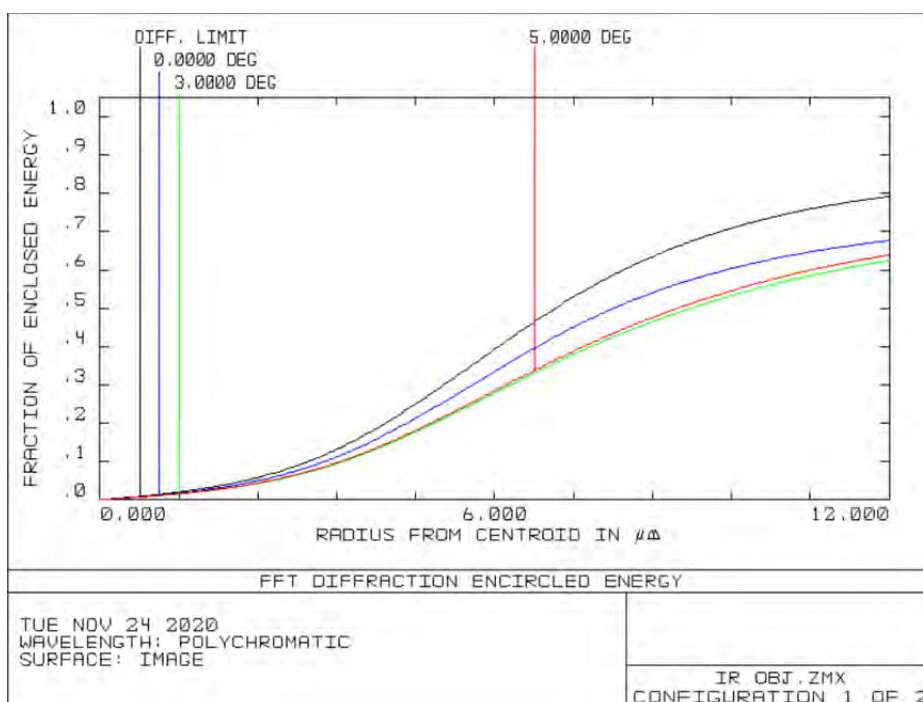


Рисунок 2.13 Функція концентрації енергії ІЧ каналу

Діаграми кружків розсіювання (Рисунок 2.14) для різних кутів поля зору дозволяють оцінити можливі аберації у ОС [37-40].

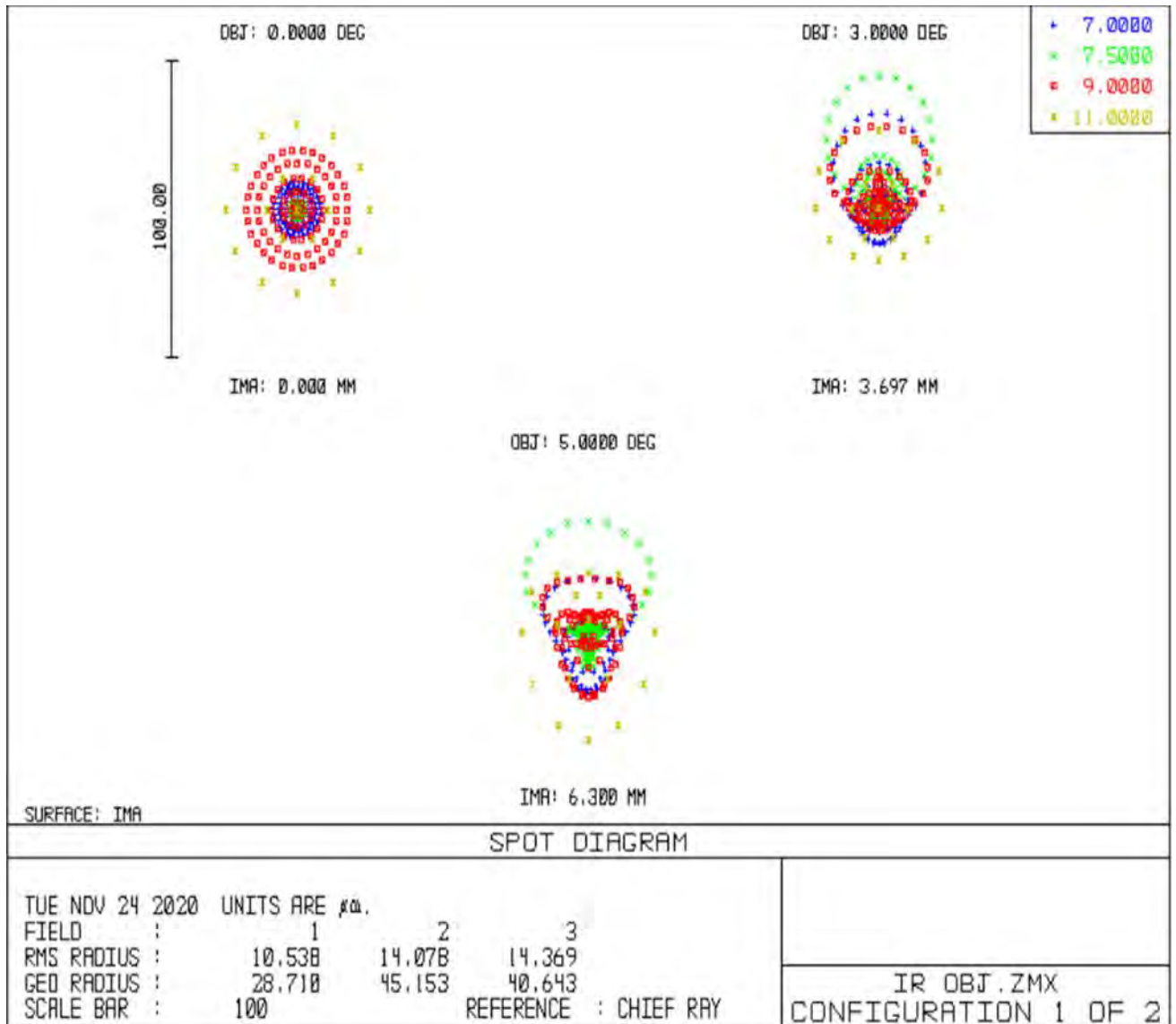


Рисунок 2.14 Діаграми кружків розсіювання ІЧ каналу

Одним з найважливіших функцій програми «ZEMAX» є моделювання впливу температури на оптичну система та автоматична оптимізація системи під робочу температуру[41-46].

### 2.3. Синтез функціональної схеми системи

При розробці будь-якої системи необхідно створити документ, що пояснює усі процеси, які проходять у системі. Такий документ називають функціональною схемою.

Для розроблюваної тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення, також було синтезовано функціональну схему (Рисунок 2.15).

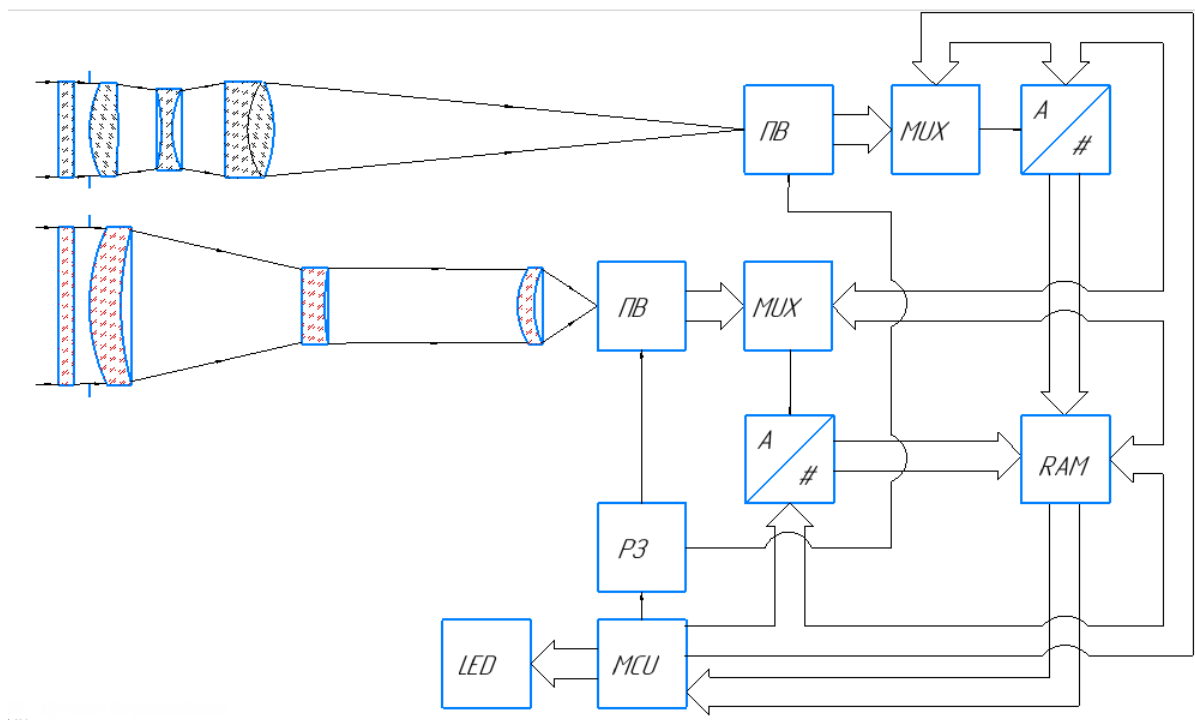


Рисунок 2.15 Функціональна схема приладу

Функціональна схема приладу, що наведена в додатку Б до роботи, складається з таких блоків: телевізійного оптичного тракту, інфрачервоного оптичного тракту, матричного приймача випромінювання видимого діапазону спектру, матричного приймача випромінювання інфрачервоного діапазону спектру, двох мультиплексорів, двох регістрів

зсуву, двох аналогово-цифрових перетворювачів, блоку пам'яті, мікроконтролера та дисплея.

Принцип роботи такої системи можна описати наступним чином. Випромінювання ІЧ та ТВ спектру довжин хвиль від об'єкту контролю та фону надходить у відповідні до довжин хвиль оптичні канали, що формують зображення на відповідній чутливій матриці. Мікроконтролер активує реєстр зсуву, який в свою чергу послідовно опитує рядки з яких зчитуються данні. Реєстр зсуву тут необхідний, бо дозволяє «розширити» кількість цифрових виходів у мікроконтролері. Далі паралельно сигнали усіх пікселів обраного рядка надходять до мультиплексора. Мультиплексор в залежності від відправленого мікроконтролером сигналу пропускає один сигнал. Цей сигнал відцифровує аналогово-цифровий перетворювач. Далі цифровий сигнал записується у блок пам'яті. Після запису сигналів з усіх пікселів обох приймачів мікропроцесор оброблює отримані данні, а саме виконує алгоритм наведений у підрозділі 3.3. Після обробки зображення відображається на екрані.

## **Висновки до розділу 2**

Як результат розробки оптичного тракту синтезована оптична схема системи, наведена в додатку А до роботи, яка складається з ТВ каналу та ІЧ каналу.

Синтез та моделювання оптичних каналів проведено в програмі ZEMAX. Ця програма дозволяє не тільки розраховувати основні параметри та характеристики оптичних систем, а також візуалізувати та проаналізувати дані показники у вигляді графіків, схем та діаграм, що було продемонстровано у даному розділі.

При моделюванні обох каналів в основу концепції був закладений принцип гарної якості зображення при малих габаритах, високій технологічності та відносно невеликій собівартості системи. Це пов'язано з метою використання даного приладу, а саме масового контролю температури тіла людей у місцях їх масового скупчення. Тобто, малі габарити будуть сприяти полегшенню встановлення приладу у важкодоступних місцях, а невисока ціна сприятиме широкому застосуванню та розповсюдженню системи.

Також було синтезовано функціональну схему тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Основною мовою програмування було обрано C# (C Sharp). Це об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи .NET. Розроблена Андерсом Гейлсбергом, Скотом Вілтамутом та Пітером Гольде під егідою Microsoft Research (належить Microsoft).

Основним середовищем розробки для цієї мови є Microsoft Visual Studio.

Це середовище має приємний дизайн та широкий функціонал для розробки графічного інтерфейсу користувача та баз даних.

Microsoft Visual Studio (Рисунок 3.1) — серія продуктів фірми Майкрософт, які включають інтегроване середовище розробки програмного забезпечення та низку інших інструментальних засобів. Ці продукти дозволяють розробляти як консольні програми, так і програми з графічним інтерфейсом, в тому числі з підтримкою технології Windows Forms, а також веб-сайти, веб-застосунки, веб-служби як в рідному, так і в керованому кодах для всіх платформ, що підтримуються Microsoft Windows, Windows Mobile, Windows Phone, Windows CE, .NET Framework, .NET Compact Framework та Microsoft Silverlight.

Основними перевагами розробки на мові «сі-шарп» є:

- Безкоштовне інтегроване середовище розробки;
- Велика кількість open source (безкоштовних) бібліотек;
- Розробка та підтримка мови та інтегрованого середовища розробки великою корпорацією Microsoft.

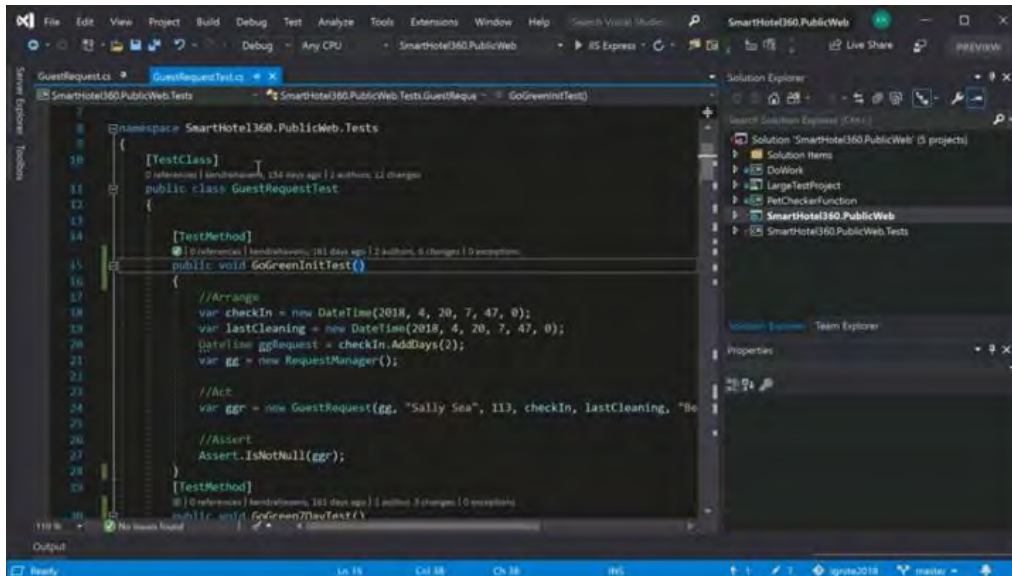


Рисунок 3.1 Інтерфейс інтегрованого середовища розробки Microsoft Visual Studio

### 3.1. Розробка програми для дослідження впливу комплексування на інформативність зображення

У ході проведення дослідження було розроблено комп'ютерну програму, реалізовану на мові програмування C#, графічний інтерфейс якої наведено на Рисунок 3.2.

Для комплексування обрано знімки видимого діапазону – позначка «RGB», що знаходиться зліва та інфрачервоного діапазону спектру – позначка «TEMP», що знаходиться зліва. Результат комплексування кольорового зображення показаний в області під написом «RESULT1», чорно-білого – в області під написом «RESULT2». Кнопка «TEST» змінює тестові зображення на інші, з файлу ресурсів. Назви чотирьох кнопок, при натисканні на які відбувається комплексування двох початкових зображень, відповідають методам комплексування. З правого боку відображається результат бінарної сегментації: в області під написом «Real» – еталонний зразок для порівняння та налаштування

порогу сегментації, реалізованої завдяки повзунку знизу; в області під написом «TEMP» – результат сегментації термограми; в області під написом «RESULT1» – результат сегментації комплексованого кольорового зображення; в області під «RESULT2» – результат сегментації комплектованого чорно-білого зображення.

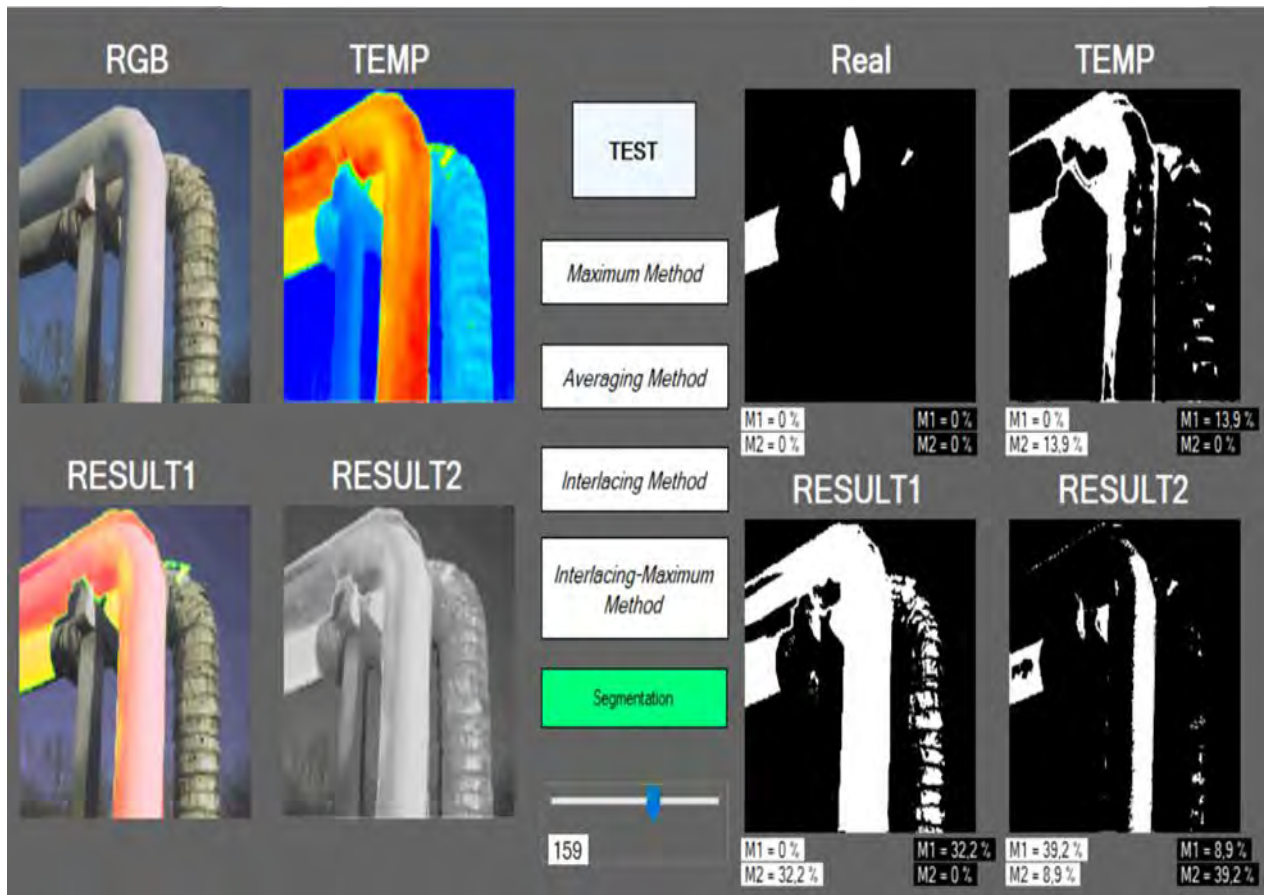


Рисунок 3.2 Інтерфейс програми комплексування зображень

Під результатом сегментації розташовані розраховані оцінки, по еталонному зразку, як видно, вони дорівнюють нулю. Білий та чорний колір позначок оцінок – це відповідно оцінка для класу з білими пікселями та оцінка для класу з чорними пікселями. Позначка «M1» відповідає першому критерію якості, позначка «M2» – другому.



Результати дослідження містить **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, на основі даних якої можна оцінити ефективність розглянутих методів комплексування зображень [47].

Таблиця 3.1 Оцінка якості сегментації комплексованих зображень

<i>Метод комплексування</i>	<i>Перший критерій, M1</i>	<i>Другий критерій, M2</i>	<i>Перший критерій для термограми</i>	<i>Другий критерій для термограми</i>
Максимуму	0,1	17,6	0,1	2
Усереднення	92,8	1,7	0,1	2
Черезрядкового комплексування	49,8	8,8	0,1	2
Черезрядкового комплексування максимумів	49,8	16,7	0,1	2

Алгоритм програми можна побачити на Рисунок 3.4.

Як видно з наведених результатів, сегментація після комплексування мультиспектральних зображень набагато гірша ніж сегментація самої термограми. Отже, можна зробити висновок, що розглянуті методи комплексування не покращують бінарну сегментацію для якісних зображень, отриманих в умовах відсутності завад. Однак, якщо інформативність обох зображень недостатня (Рисунок 3.3), комплексування є ефективним методом покращення зображення. Як видно з малюнку, на фотографії видимого діапазону спектру можна виявити чоловіка, що сидить в автомобілі, але людину біля автомобіля не видно. На термограмі ж виявити людину біля авто не складає жодних проблем, але тепловізійна техніка не здатна зареєструвати водія, що знаходиться за склом салону транспортного засобу.

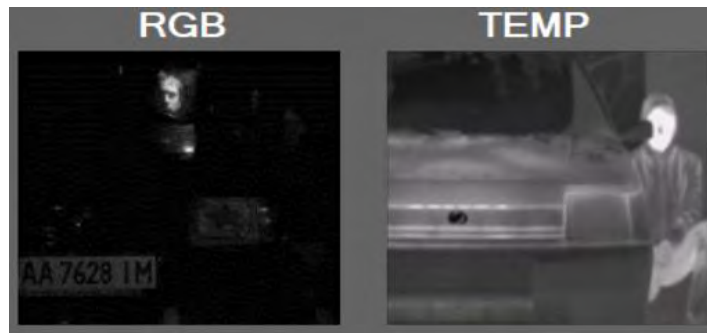


Рисунок 3.3 Фотографія та термограма з завадами



Рисунок 3.4 Алгоритм програми

Результат комплексування двох малоінформативних знімків (Рисунок 3.5) здатний суттєво покращити якість їх бінарної сегментації, в наведеному випадку до 10%. Для ще більшого підвищення якості зображення перед комплексуванням необхідно нормалізувати гістограми базових зображень, а також провести їх очищення від шумів медіанним фільтром.

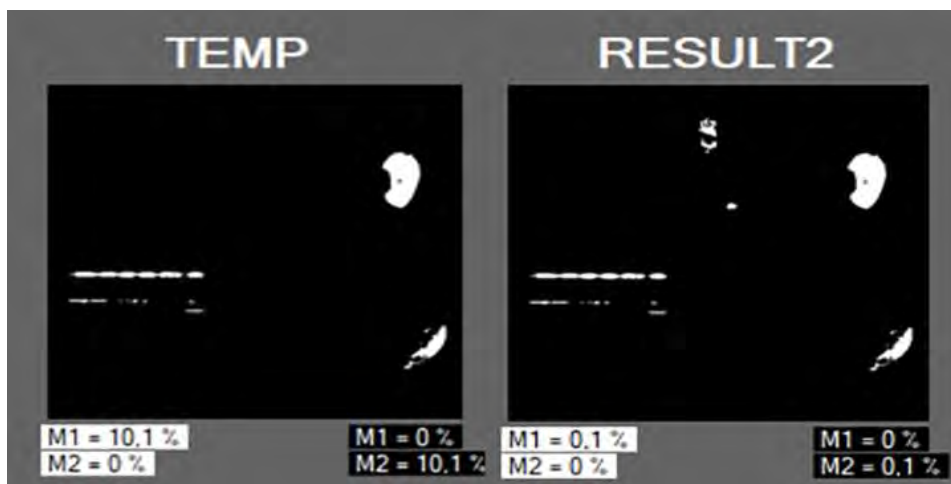


Рисунок 3.5 Результат сегментації термограми та комплексованого зображення

### 3.2. Розробка програми для зміни кольорової палітри термограми

Розробка цієї програми спрямована на збільшення контрастів перепадів температур на термограмі в залежності від поставлених задач спеціаліста з неруйнівного контролю, що значно підвищує якість контролю [48].

Наприклад порівняємо дві термограми одного об'єкта контролю (Рисунок 3.6), однак з різними кольоровими палітрами. Термограма з ліва має чорно-білу кольорову палітру при такій палітрі оператору складно виявити перевищення температури по деякому порогу. Кольорова палітра малюнку з права також в основі має чорно-білий градієнт, однак в області

високих температур в кольорову палітру додано жовто-червоний градієнт, як результат ми бачимо значне збільшення контрасту термограми, а отже полегшили виявлення оператором перевищення температури по деякому порогу.

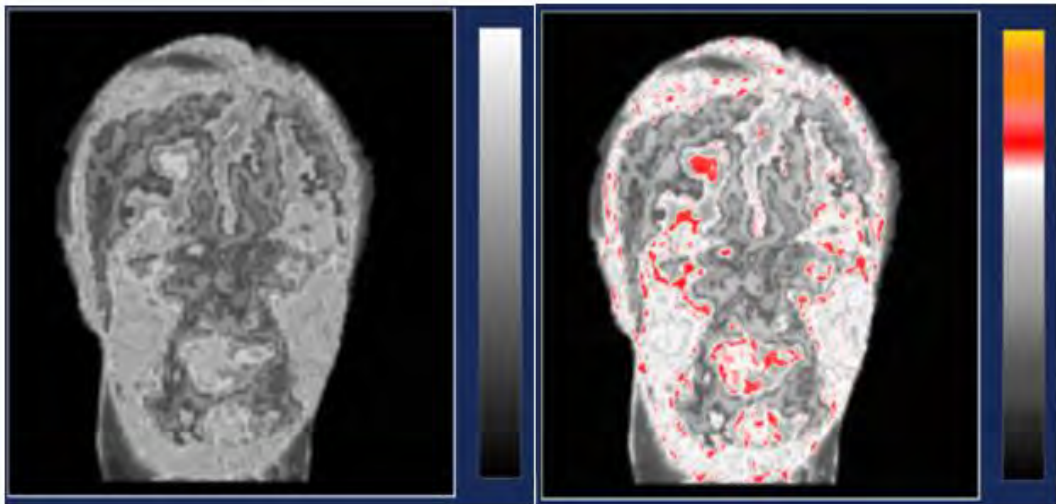


Рисунок 3.6 Термограма деякого об'єкта контролю з різними кольоровими палітрами

Графічний інтерфейс користувача був розроблений на базі технології Windows Forms (рис. 3.6).



Рисунок 3.7 Інтерфейс програми для зміни кольорової палітри термограми

Алгоритм роботи програми (Рисунок 3.8) та результат роботи (Рисунок 3.9 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).



Рисунок 3.8 Алгоритм програми

Користувач завантажує термограму в програму, після чого її кольорова палітра змінюється на чорно-білу. Це необхідно для того щоб в подальшому використовувати абсолютну інтенсивність зображення в діапазоні від 0 до 255, а не 3 інтенсивності по червоному, зеленому та синьому кольорах. Далі користувач обирає або створює кольорову палітру. Після вибору формується матриця перетворення інтенсивності, де кожному значенню інтенсивності від 0 до 255 представлено колір. Після перетворення користувачу відображається результат. У користувача є можливість зберегти результуюче зображення.

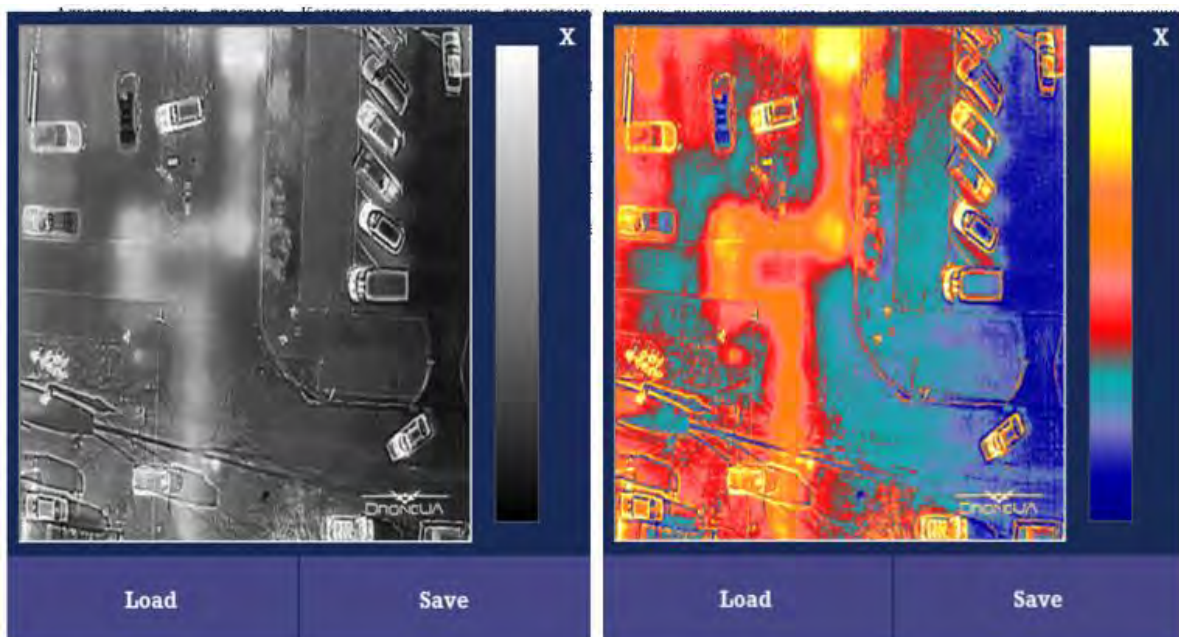


Рисунок 3.9 Приклад роботи програми. Зліва - термограма до обробки, зправа – після обробки

Для того щоб завантажити зображення необхідно натиснути кнопку «Load», після чого з'явиться діалогове вікно для вибору термограми (Рисунок 3.10).

Для вибору кольорової палітри необхідно на неї натиснути. Після чого з'явиться діалогове вікно (Рисунок 3.11) для вибору кольорової

палітри. В комплекті програми представлено 8 кольорових палітр. При необхідності існує функціонал створення користувачем своїх кольорових палітр.

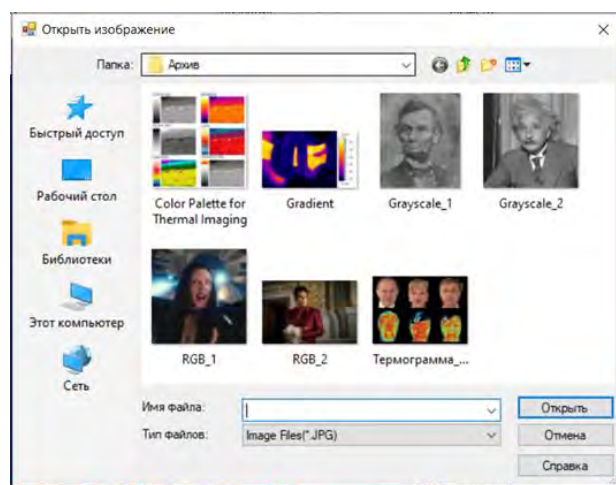


Рисунок 3.10 Діалогове вікно для вибору термограми



Рисунок 3.11 Діалогове вікно для вибору кольорової палітри

Якщо користувачу необхідно створити свою кольорову палітру, він повинен натиснути кнопку «Add New Color Palette» після чого буде відкрито діалогове вікно для створення кольорової палітри (Рисунок 3.12). Коротко пройдемо по функціоналу даного діалогового вікна. Коли форма тільки відкрилась на ній є тільки дві області для кольорів, області з написом «Click». Для того щоб додати більше областей необхідно натиснути кнопку «Add Color». Для того щоб закрити діалогове вікно да не вносити змін необхідно натиснути кнопку «Close». Щоб обрати колір необхідно натиснути по області з написом «Click», з'явиться діалогову вікно для вибору кольору. Обираємо колір та натискаємо кнопку «OK».

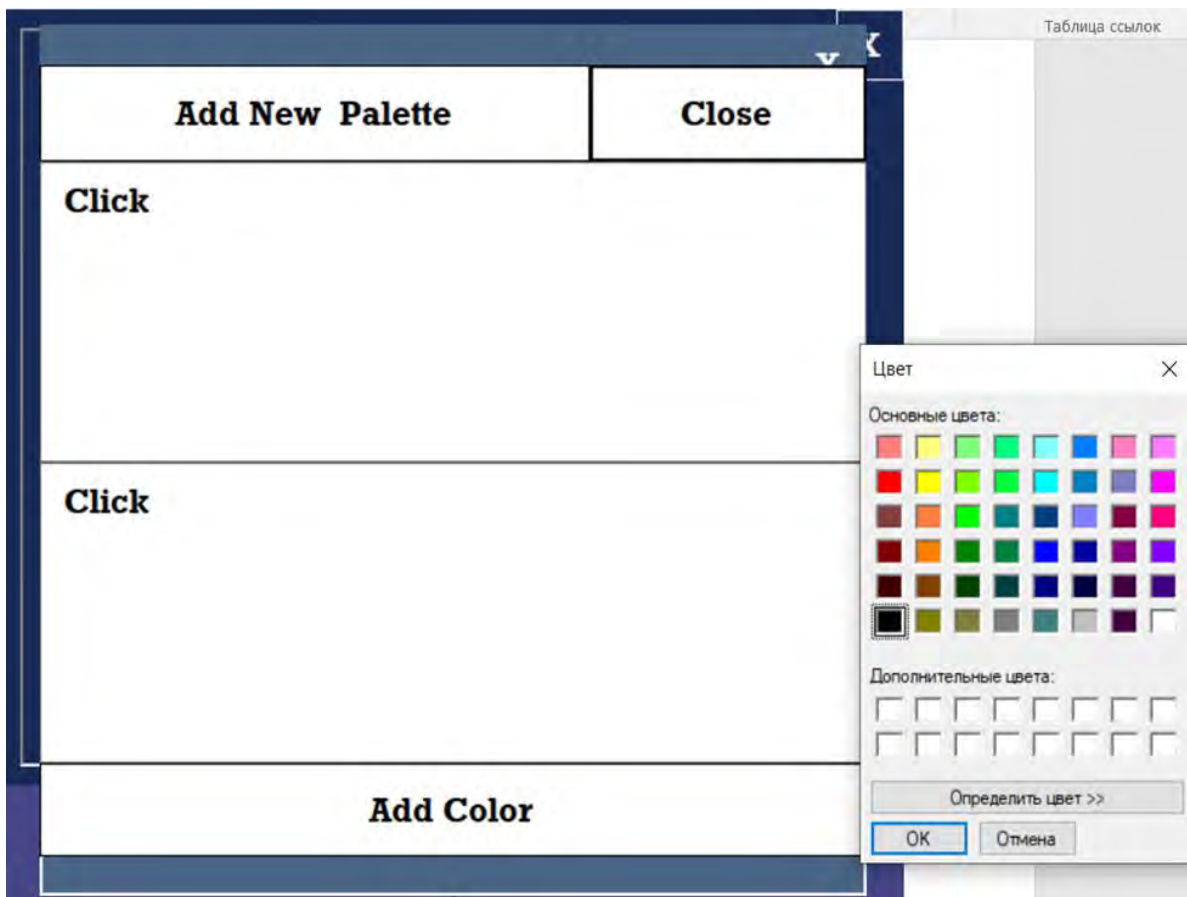


Рисунок 3.12 Діалогове вікно для створення кольорової палітри



Після додання всіх необхідних кольорів для збереження створеної палітри натискаємо «Add New Palette». З'явиться діалогове вікно для вводу назви створеної палітри (Рисунок 3.13).

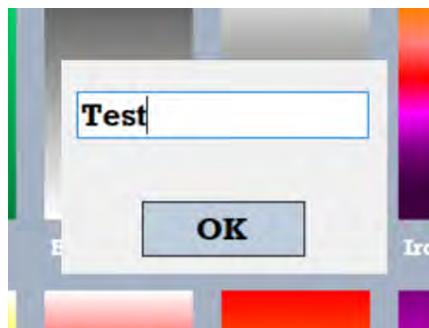


Рисунок 3.13 Діалогове вікно для вводу назви нової палітри

Важливо буде показати яка буде різниця між палітрою, що сформувалася при виборі кольорів (рис. 3.12) та готовою кольоровою палітрою, що буде використовуватися в програмі (рис. 3.13).



Рисунок 3.14 Діалогове вікно з вибраними кольорами для нової палітри – зліва, готова кольорова палітра – справа

Результати роботи програми з використанням стандартних палітр представлених у програмі можна побачити на Рисунок 3.15.

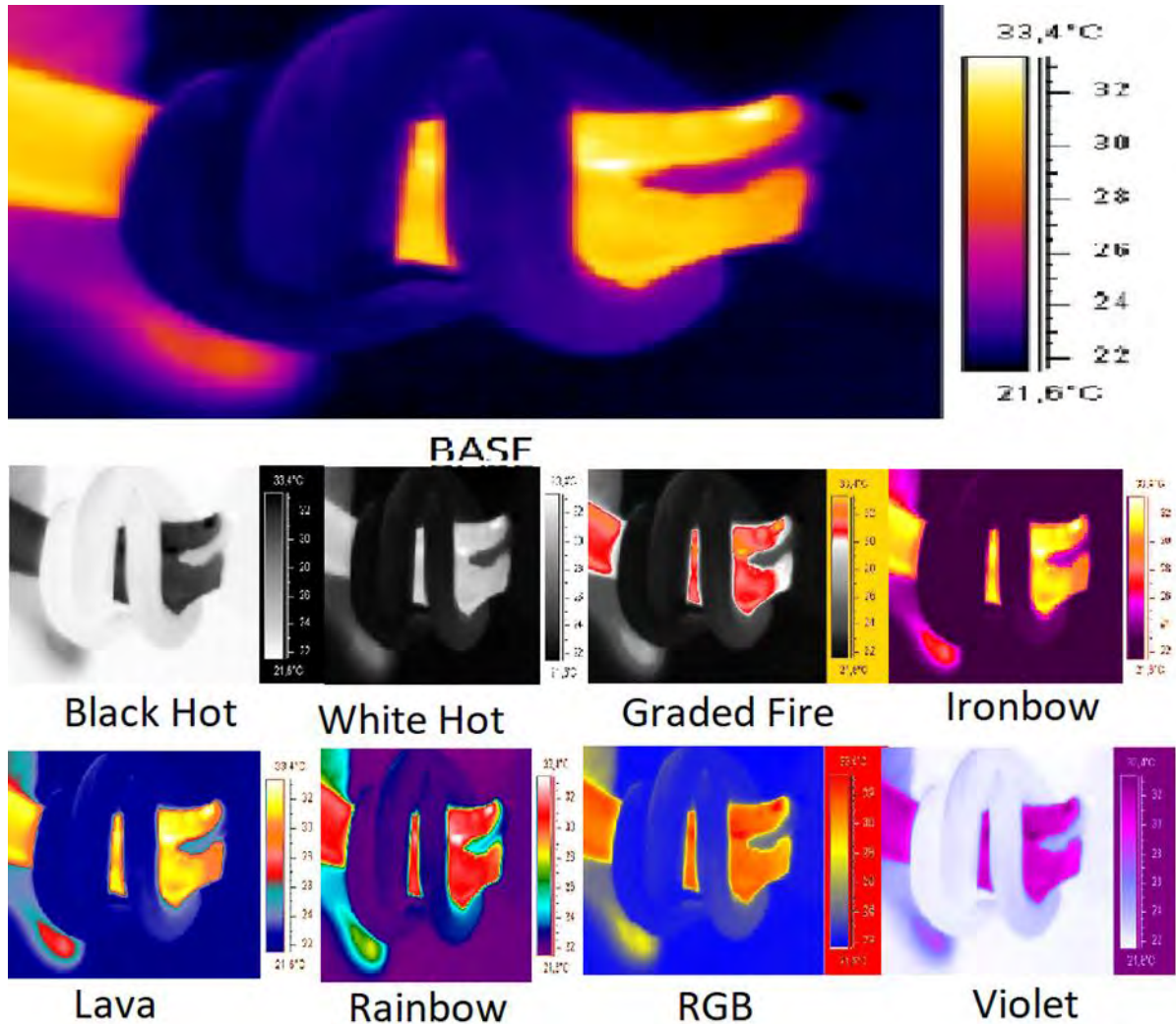


Рисунок 3.15 Результати роботи програми

### 3.3. Розробка програми для виміру температури тіла з використанням комплексування зображень

Як було зазначено в розділі 1, областю яка найбільш корелює своєю температурою з температурою вуха є ділянка біля очей. На даний момент немає алгоритмів, що здатні визначити цю область на термограмі, тому

було задля цієї мети запропоновано використовувати алгоритми комплексування зображень.

Визначити температуру даної області можливо використавши обхідні шляхи. Тобто область біля очей будемо визначати на фотографії, а вже потім завдяки комплексуванню будемо визначати цю область на термограмі [49].

Розглянемо більш детально роботу розробленої програми графічний інтерфейс якої показаний на Рисунок 3.16.

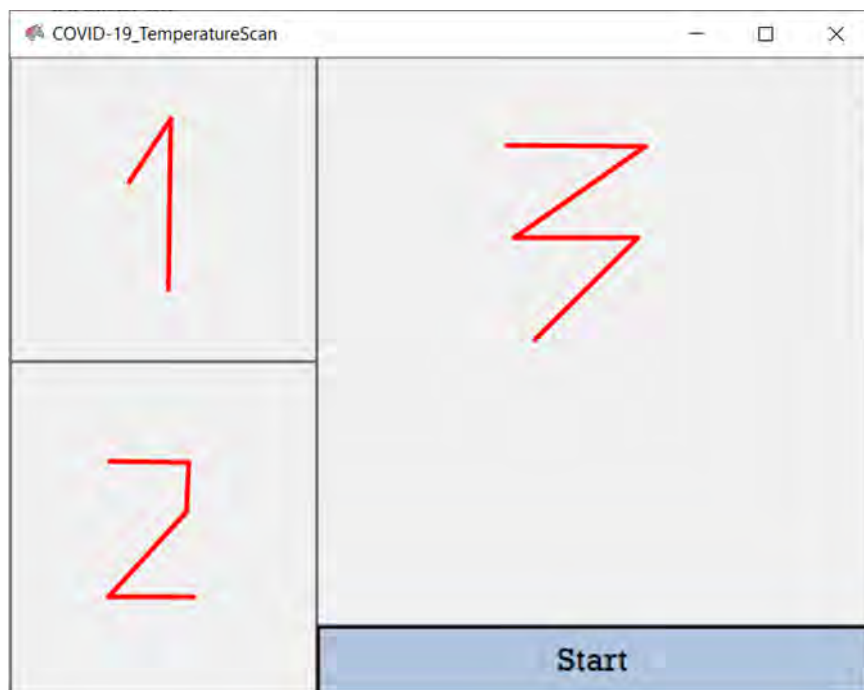


Рисунок 3.16 Графічний інтерфейс програми для виміру температури тіла з використанням комплексування зображень

Область номер 1 відведена для відображення фотографії, область номер 2 відведена для відображення термограми, область номер 3 для відображення результату роботи програми.

Для завантаження фото або термограми необхідно двічі натиснути на відведену для них область, після чого з'явиться діалогове вікно для вибору зображення (Рисунок 3.17).

Якщо натиснути двічі на область відведену для результуючого зображення з'явиться діалогове вікно схоже на Рисунок 3.17, але для вибору місця та назви файлу в якому буде зберігатися результуюче зображення.

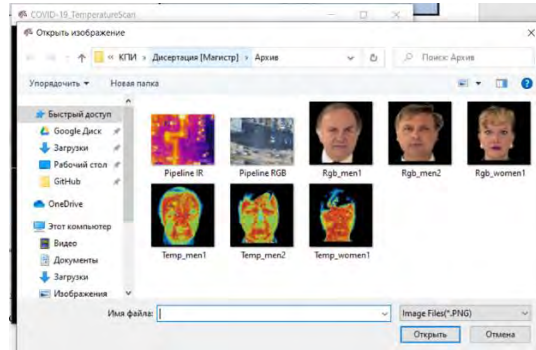


Рисунок 3.17 Діалогове вікно для вибору зображення

Після вибору зображень інтерфейс програми буде виглядати приблизно так, як зображено на Рисунок 3.18.

Тепер можна перейти до самого алгоритму роботи (Рисунок 3.19) цієї програми, після чого розглянемо ще деякий додатковий функціонал програми.

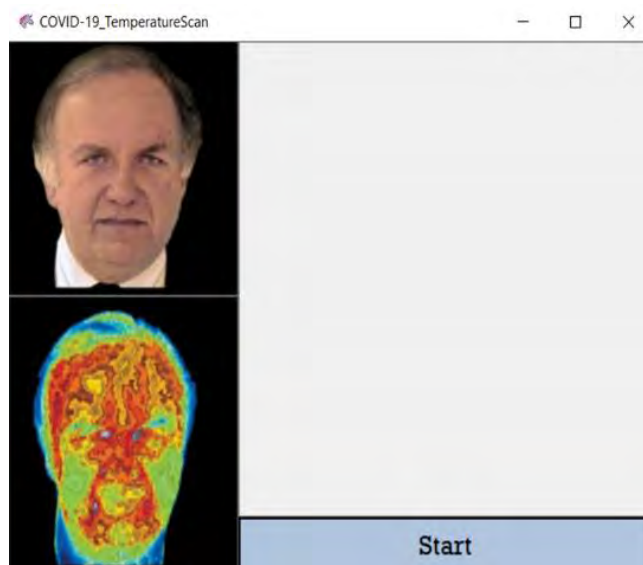


Рисунок 3.18 Інтерфейс розробленої програми після завантаження зображень



### Рисунок 3.19 Псевдо алгоритм програми

Після завантаження зображень для початку їх обробки необхідно натиснути на кнопку з написом «Start». Далі свою роботу починає нейронна мережа, що була розроблена в пакеті open source бібліотеки Emgu CV [50], це бібліотека к відкритим кодом та безкоштовна, розроблена для полегшення розробки алгоритмів на базі комп'ютерного зору. Хоч дана бібліотека має в собі вже розроблену нейронну мережу, однак ваги для нейронів постачає нам інший open source проект який має назву OpenCV, тобто навчали цю нейронну мережу інша команда.

Ця нейронна мережа в залежності від покладених в неї ваг нейронів виконує різний функціонал. Так для зменшення похибки визначення очей людини, спочатку ми використовуємо цю мережу для пошуку обличчя людини, а вже потім визначаємо саме область біля очей.

Тобто алгоритм побудови матриці координат очей людини з фотографії має такий порядок: цілу фотографію передаємо нейронній мережі для пошуку обличчя, як результат отримаємо матрицю координат всіх обличч на зображенні, так як дана система розрахована на одного пацієнта то обираємо перше обличчя, що було знайдено; вирізаємо з цілого початкового зображення знайдене обличчя; зображення обличчя передаємо знову нейронній мережі, але вже для пошуку очей, як результат отримаємо матрицю координат очей пацієнта. Результат роботи візуально прийнятний для сприйняття людиною представлений на Рисунок 3.20.

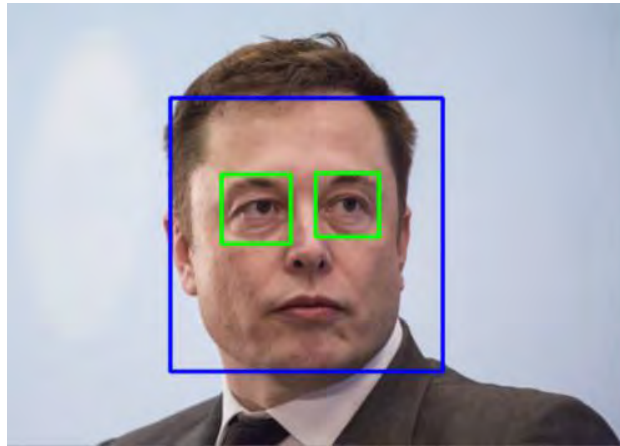


Рисунок 3.20 Результат роботи алгоритму визначення матриці координат очей пацієнта

Після побудови матриці координат очей, програма переносить її на термограму, тобто комплексує 2 зображення фотографію та термограму без поєднання самих зображень. Тепер коли програма знає локацію очей на термограмі вона визначає максимальну температуру області очей, яку виводить користувачеві в «шапку» програми (Рисунок 3.21).

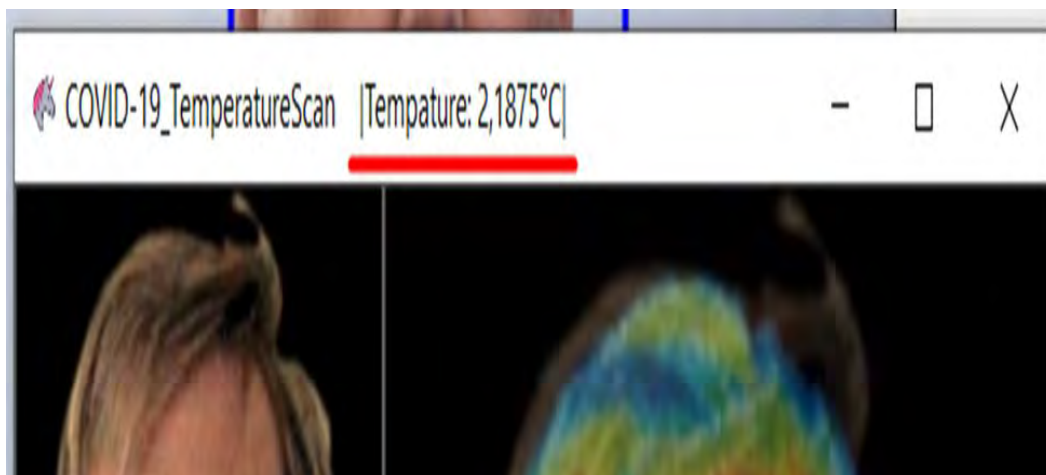


Рисунок 3.21 Вивід максимальної температури в області очей

Далі програма виконує комплексування початкових зображень по вибраному алгоритму, пояснення далі, з поєднанням зображення. Це зроблено по двом причинам: перша – доведено, що комплексування

зображень з поєднанням збільшує інформативність результуючого зображення а порівнянні із вхідними зображеннями окремо, друга – поєднане зображення набагато легше сприймати оператору, особливо якщо використовувати різні методи для різних задач візуалізації. Останнім штрихом в обробці є відображення областей, які були знайденні нейронною мережею, різнокольоровими прямокутниками. Результат роботи можна побачити на Рисунок 3.22.

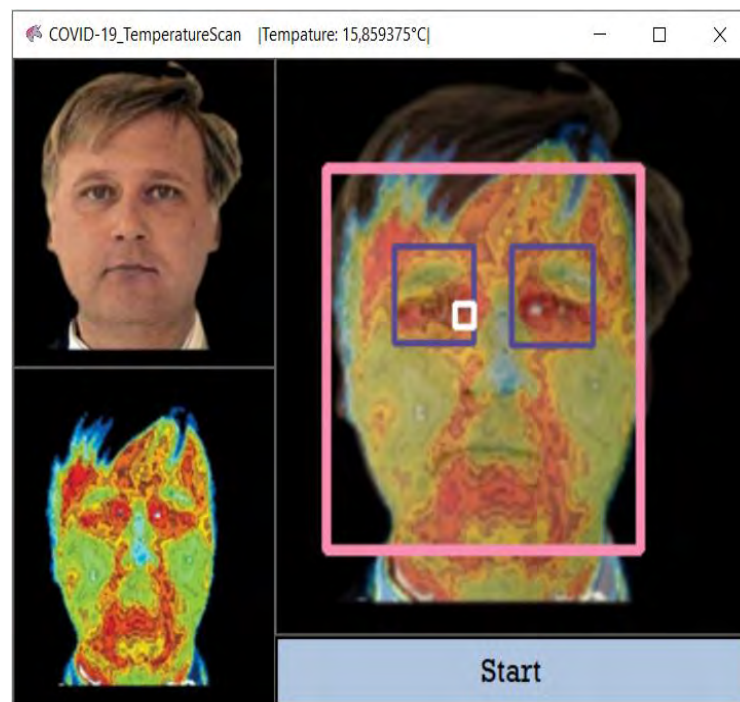


Рисунок 3.22 Результат роботи програми

На результаті роботи програми (Рисунок 3.22) можна побачити деяку не відповідність розрахованої температури та температури здорової людини. Це спричинено тим, що різні тепловізори розраховані на різні температури. А це означає що програмі необхідне калібрування. Для цього було додано визів діалогового вікна налаштування. Щоб визвати це діалогове вікно необхідно натиснути правою кнопкою миші по програмі, з'явиться контекстне меню що зображене на Рисунок 3.23.



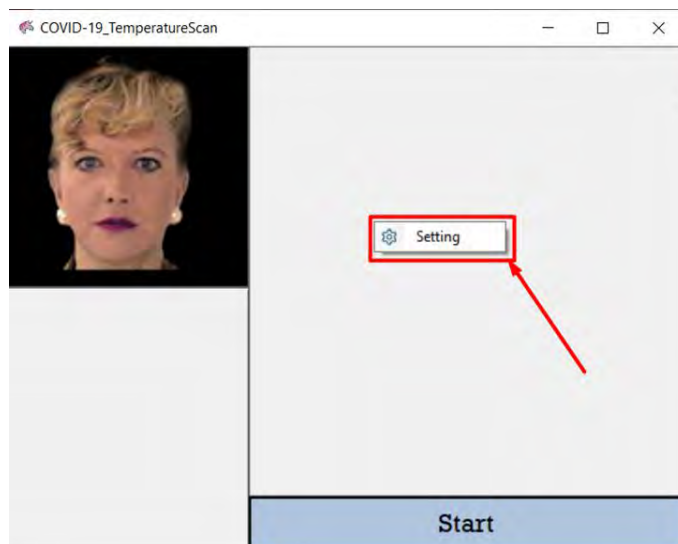


Рисунок 3.23 Контекстне меню програми

При натиску на пункт з написом «Setting» з'явиться діалогове вікно налаштувань(Рисунок 3.24).

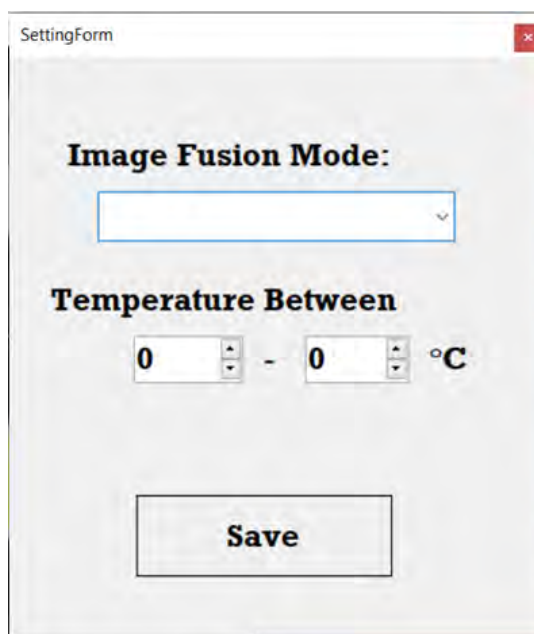


Рисунок 3.24 Діалогове вікно налаштувань програми

В списку під написом «Image Fusion Mode:» можна обрати метод комплексування зображення. На даний момент реалізовано такі методи: метод максимуму, метод усереднення, метод черезрядкового

комплексування, Метод черезрядкового комплексування максимумів, пороговий метод.

Калібрування здійснюється завдяки вибору максимальної та мінімальної температури до якої чутливий тепловізор. Це вказується в панелі вибору числових значень, що знаходиться під написом «Temperature Between».

Результат роботи програми після калібрування зображено на Рисунок 3.25.

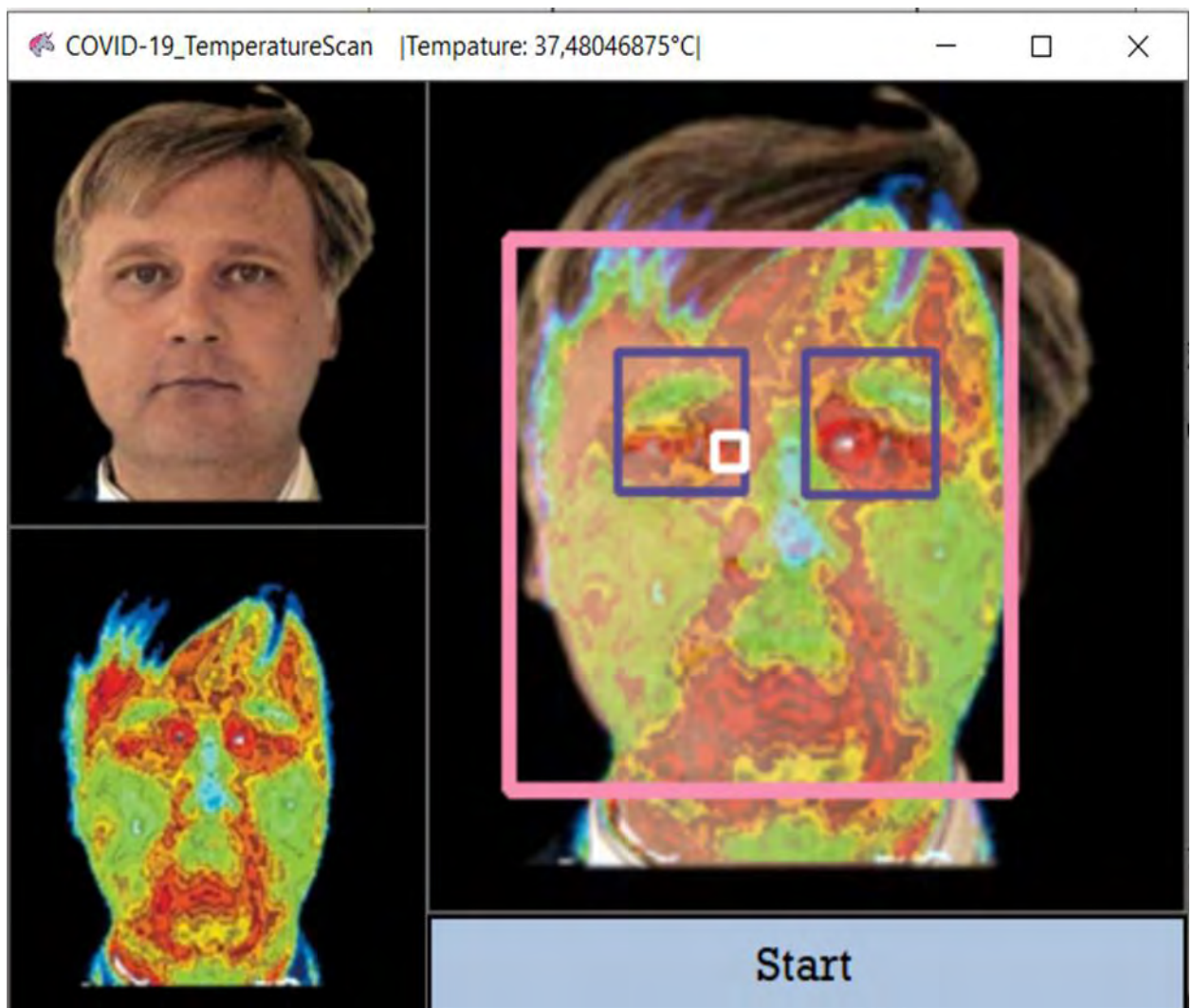


Рисунок 3.25 Результат роботи програми після калібрування

Для доказу, що програма працює не лише з одним зображенням на Рисунок 3.26 зображено декілька результатів роботи програми.

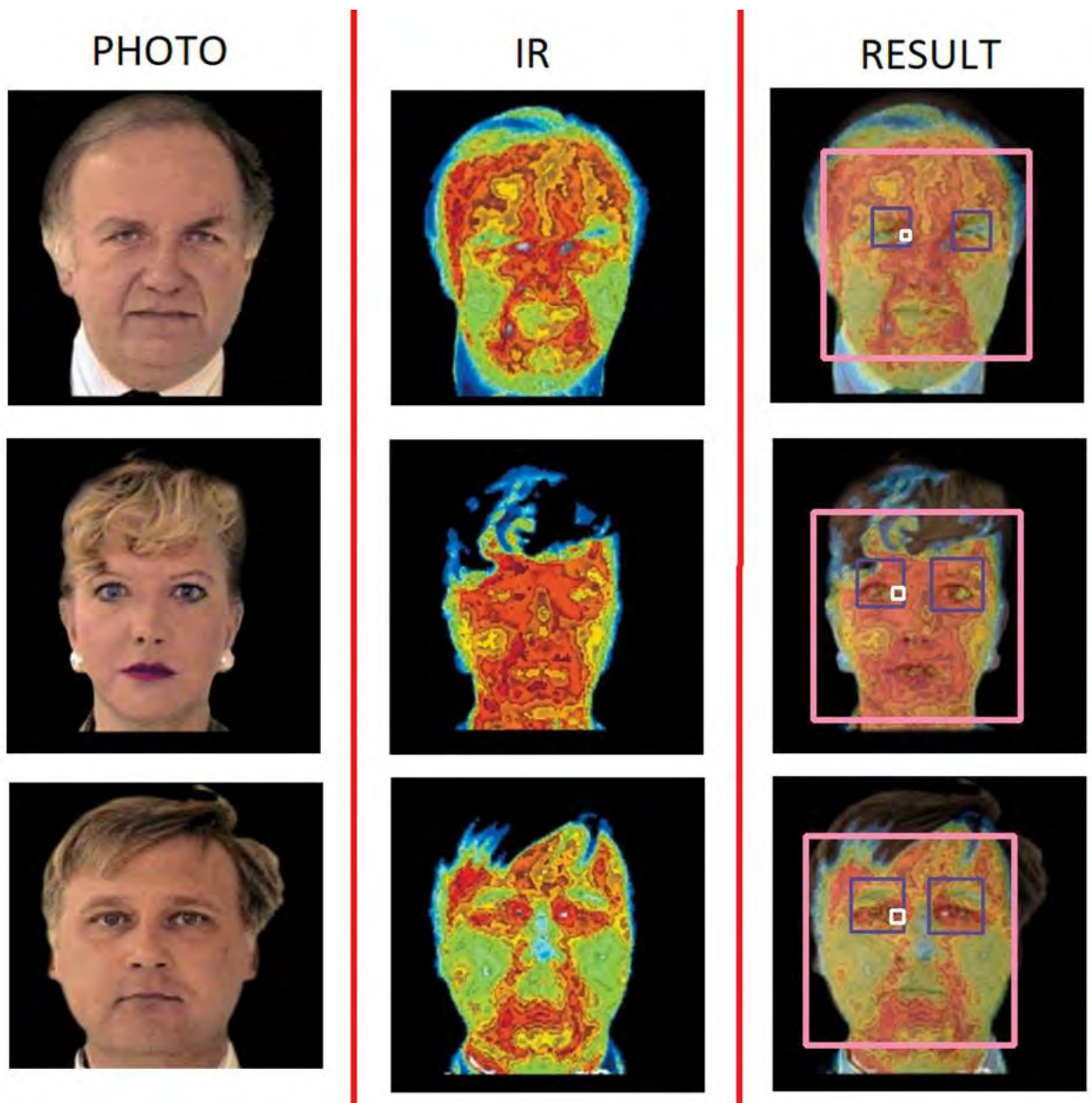


Рисунок 3.26 Декілька результатів роботи програми

### **3.4. Розробка нейронної мережі для контролю наявності маски на обличчі людини**

Більшість інфекційних захворювань передаються повітряно-крапельним шляхом, тому медична маска є ефективним засобом перешкоджання розповсюдженню пандемії.

Тому контроль наявності захисних масок в місцях масових скупчень людей під час пандемії, може врятувати велику кількість життів.

Для вирішення цієї задачі можна використати засоби машинного навчання (ML) [51]. А саме механізми класифікації зображень [52].

Для цього було використано безкоштовний інструмент від компанії Microsoft – ML.NET. Це програма машинного навчання для таких мов програмування, як C# та F#. Вона має широкий спектр алгоритмів та нейронних мереж для різноманітних задач машинного навчання, наприклад, прогнозування цін, класифікація зображень, детектування об'єктів на зображенні та інші.

Основним інструментом ML.NET є Model Builder, який дозволяє навчити нову нейронну мережу без написання коду. Model Builder має наступні вкладки:

1. Scenario – в цій вкладці обирається ціль навчання;
2. Environment – тут обираємо, де будемо навчати на локальному комп'ютері, або на хмарному сервері;
3. Data – тут обираємо датасет;
4. Train – для запуску навчання;
5. Evaluate – містить основні характеристики навченої нейронної мережі та дає можливість перевірити її роботу;
6. Code – дана вкладка запускає механізм автоматичного написання коду.

Для вирішення поставленої задачі у вкладці «Scenario» (Рисунок 3.27) необхідно обрати «Image classification».

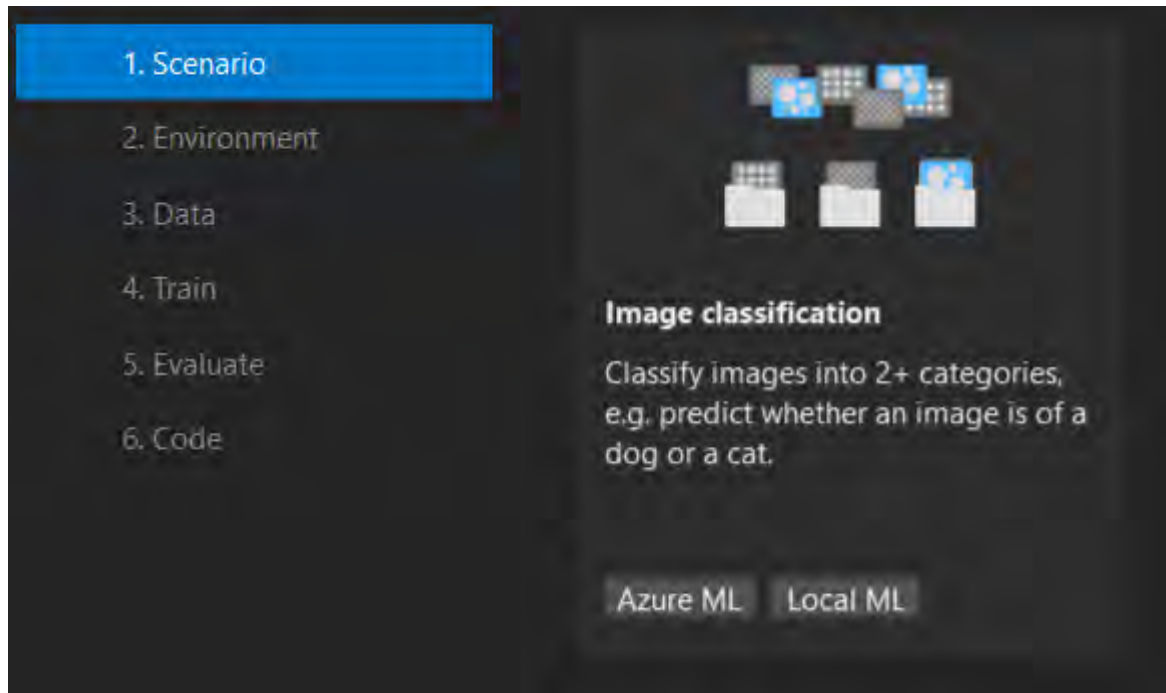


Рисунок 3.27 Вкладка «Scenario»

Далі у вкладці «Environment» (Рисунок 3.28) необхідно обрати де буде проводитися навчання, було обрано навчати на локальному комп'ютері.

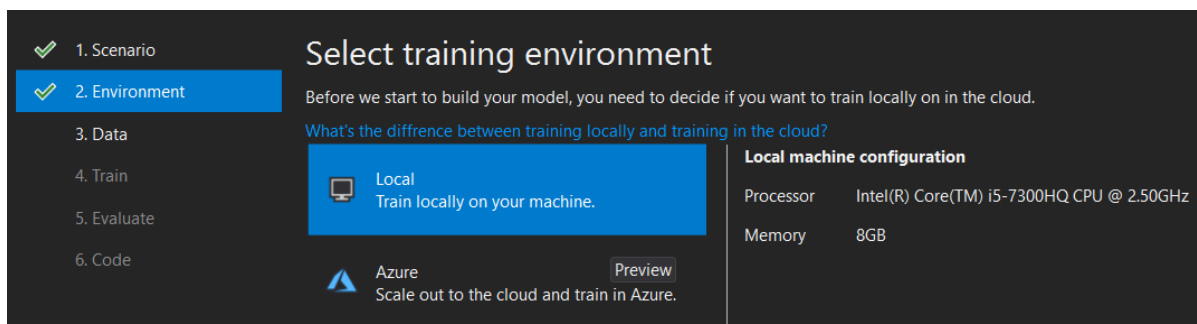


Рисунок 3.28 Вкладка «Environment»

У наступній вкладці – «Data» (Рисунок 3.29), необхідно вказати повний шлях до датасету, після чого можна побачити класи для навчання та декілька зображень з вибірки.

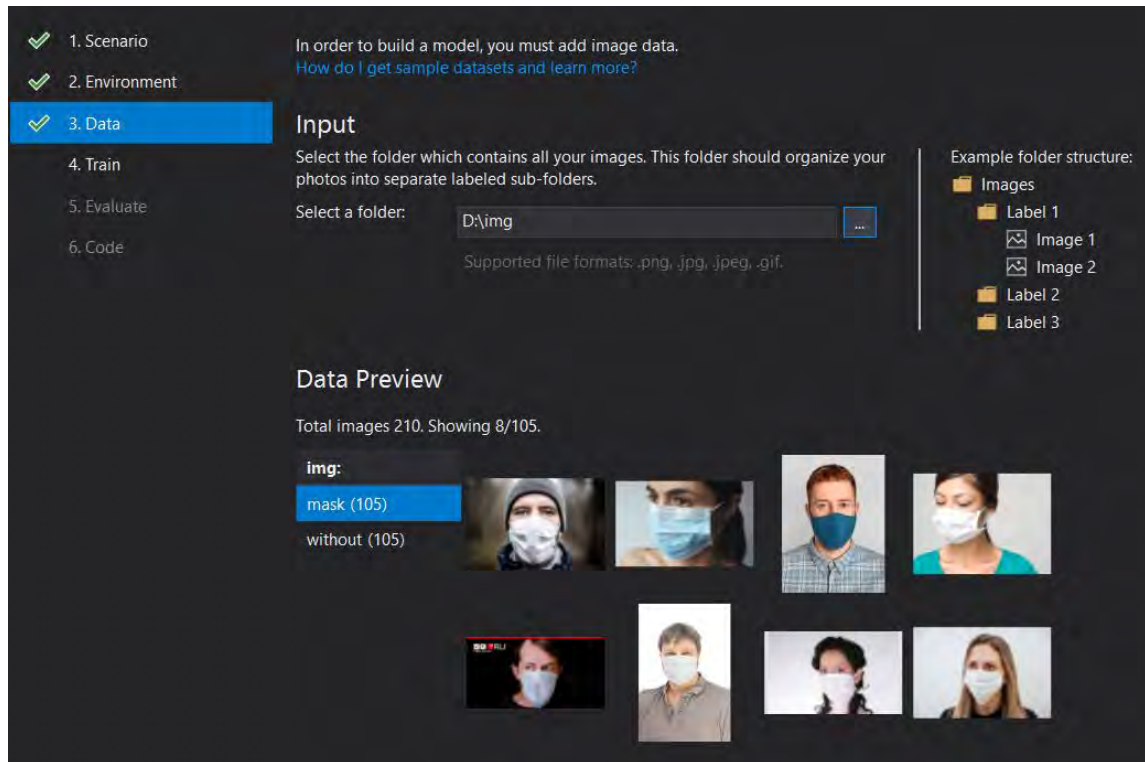


Рисунок 3.29 Вкладка «Data»

Після попереднього налаштування запускається саме навчання. Як результат отримано повідомлення в консолі, яке можна побачити на Рисунок 3.30.

```
|Total experiment time : 1413,3471947 Secs
|Total number of models explored: 1
-----
|
|                               Top 1 models explored
|-----
|  Trainer                MicroAccuracy  MacroAccuracy  Duration  #Iteration
| 1  ImageClassification    0,9565         0,9583         1413,3    1
|-----
```

Рисунок 3.30 Повідомлення про закінчення навчання

Короткі характеристики навченої нейронної мережі можна подивитися у вкладці «Evaluate». Характеристики отриманої нейронної мережі зображено на Рисунок 3.31.

<b>ML task:</b>	image-classification
<b>Dataset:</b>	D:\img
<b>Algorithm:</b>	DNN + ResNet50
<b>Best model accuracy:</b>	95,65%
<b>Training time:</b>	Training time:
<b>Models explored (total):</b>	1

Рисунок 3.31 Характеристики навченої нейронної мережі

Як бачимо точність класифікатора складає 95,65% при вибірці 105 зображень в кожному з класів.

У тій же вкладці можна протестувати навчену нейронну мережу. На Рисунок 3.32 зображено декілька результатів класифікації, де поле «mask» відповідає за вірогідність надягнутої маски, а поле «without» за не надягнуту маску.

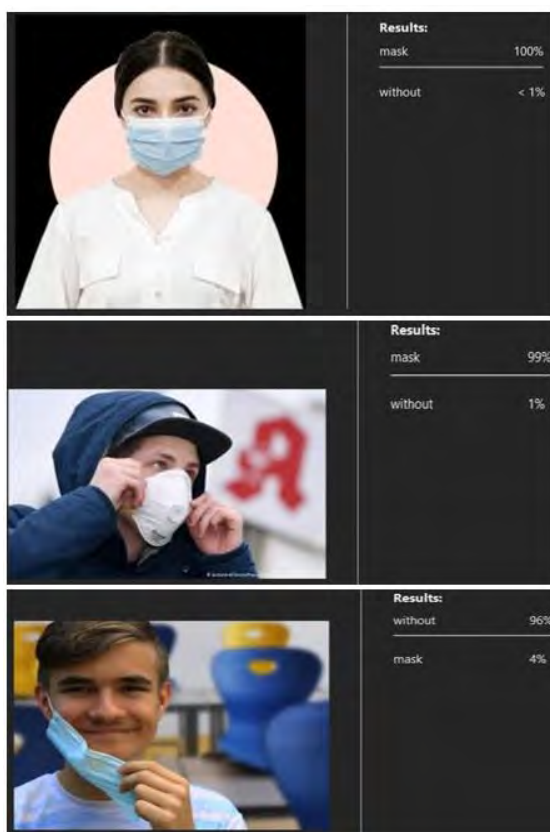


Рисунок 3.32 Декілька результатів класифікації нейронною мережею

Отримані результати доводять ефективність даного рішення. А використання такого інструменту, як ML.NET, значно пришвидшує розробку даних систем, а також вартість їх розробки.

### Висновки до розділу 3

У даному розділі було розглянуто інтерфейси, алгоритми роботи та інструкцію з користування розробленого програмного забезпечення. А саме, було розроблено програму для дослідження впливу комплексування на інформативність зображення. Завдяки цій програмі стало можливо дослідити вплив комплексування на якість сегментації зображень. По результатам експериментів з програмою, було виявлено, що комплексування двох різноспектральних зображень здатне збільшити інформативність сегментації до 10%.



Другою програмою, що описана в цьому розділі, стала програма для зміни кольорової палітри термограми. Ця програма необхідна для зменшення похибки оператора при виявленні підвищеної температури по деякому порозу за рахунок збільшення контрасту термограми через зміну її кольорової палітри. Як було показано, результат роботи програми здатен значно прискорити виявлення секторів з підвищеною температурою.

Також була розроблена програма, що здатна виявляти максимальну температуру в області очей людини. Це необхідно через те, що, як було доведено, областю, яка найбільш корелює своєю температурою з температурою вуха, є ділянка біля очей. А, отже, там можливо дистанційно та з великою точністю вимірювати температуру. Найбільшою перевагою такого способу вимірювання є те, що можливо вимірювати температуру одразу багатьох людей, що може значно підвищити відсоток виявлення інфекційної хвороби та відправлення хворого на самоізоляцію, до того як він заразить багато інших людей.

Також було навчено нейронну мережу для визначення по зображенню в масці людина чи ні. Більшість інфекційних захворювань передаються повітряно-крапельним шляхом, тому контроль наявності маски на обличчі людини може допомогти зменшити кількість захворювань в час пандемії.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В цьому розділі розглядається ідея стартап проекту тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням зображення та можливість виводу даного продукту на ринок, оцінка переваг та можливих ризиків цього впровадження.

Ідея стартап проекту (Таблиця 4.1) полягає в розробці тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням заради підвищення точності та інформативності термограм, аби отримувати достовірну інформацію щодо температури людей задля попередження розповсюдження інфекційних захворювань [53].

### 4.1. Опис ідеї проекту та його бізнес-моделі

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням	1. Діагностика інфекційних захворювань	Більш точне дистанційне вимірювання температури для діагностування інфекційних захворювань
	2. Температурний скринінг в місцях загального користування	Точне масове дистанційне вимірювання температури

В цій таблиці описується зміст ідеї стартап ідеї та потенційні базові ринки збуту цієї системи, в яких треба шукати майбутніх клієнтів. Головними напрямками застосування цієї ідеї є впровадження тепловізійної системи для точного дистанційного температурного скринінгу як однієї особи так і мас. Переваги, що отримують користувачі – більш точні данні про температуру людей без безпосереднього контакту з ними.

Наступним кроком проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг цієї ідеї в порівнянні з пропозиціями конкурентів. Визначення коло конкурентів, їх відмінність, переваги та недоліки кожної з пропозиції. Дані результатів наведено у Таблиця 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї стартап-проекту

№ П/ П	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	ПЕРГАМ ЕД-Бар'єр	Тепловізор Dahua	Тепловізор Hikvision			
1.	Вартість	80 000	85 000	100 000	90 000			+
2.	Автоматизація	+	+	-	+			+
3.	Автоматичний аналіз даних	+	+	+	+		+	
4.	Збереження результатів контролю	+	+	-	-			+
5.	Комплексування зображень	+	-	-	-			+
6.	Виявлення в масці людина чи ні	+	-	-	+			+

Отже, як видно з таблиці, було проаналізовано основна техніко-економічні властивості та характеристики кожної з пропозицій, окреслено переваги та недоліки, як даної ідеї стартап проекту, так і конкурентів. Результат продемонстрував, що дана система значно дешевша за її аналоги на ринку, в неї наявне комплексування зображень, чого немає в

жодного з конкурентів, є можливість виявляти в масці людина чи ні та наявна автоматизація та автоматичний аналіз даних.

Далі було зроблено аудит технологій, завдяки яким можна реалізувати ідею проекту. Задля визначення здійсненності цієї ідеї потрібно проаналізувати складові, котрі наведено в Таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка тепловізійної системи з мультиспектральним комплексуванням	Виготовлення деталей та збір приладу на замовлення	Наявна	Доступна
		Розробка власноруч програмного забезпечення для аналізу даних	Наявна	Доступна
		Замовлення розробки програмного забезпечення в аутсорс компанії	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Для реалізації проекту було обрано Виготовлення деталей та збір приладу на замовлення та Розробка власноруч програмного забезпечення для аналізу даних, задля збереження коштів та усіх побажань до програмного забезпечення.				

Зробивши аналіз таблиці, можна дійти до висновку, що наш проект краще всього реалізовувати завдяки виготовленню деталей та збір приладу на замовлення та розробка власноруч програмного забезпечення для аналізу даних замість того, щоб замовляти розробку програмного забезпечення в аутсорс компанії. Така реалізація забезпечує мінімізацію грошових затрат.

Бізнес модель – це «хребет» компанії. Вона описує усі внутрішні процеси бізнесу. Бізнес модель «Canvas» нині є більш зручною та

гнучкою системою, тому її часто застосовують для розробки стартап-проектів[54].

Авторами цієї бізнес моделі (Таблиця 4.4) є О. Остервадер та І. Піньє, створена ними структура мала 9 блоків.

Таблиця 4.4 Бізнес-модель Остервальдера та Піньє

<b>Ключові партнери</b>	<b>Ключові види діяльності</b>	<b>Ціннісні пропозиції</b>	<b>Взаємовідносини з клієнтами</b>	<b>Споживчі сегменти</b>
Завод, що виготовляє прилади; Хмарні сервіси, на яких оброблюються та зберігаються дані.	Розробка приладу; Розробка ПЗ; Продаж приладів; Продаж даних.	Актуальний продукт; Висока точність; Іноваційність; Унікальне програмне забезпечення.	Обслуговування; Технічна підтримка.	Група, де необхідно масово контролювати температуру тіла людини
	<b>Ключові ресурси</b>  Патенти; Виготовлені прилади; Програмне забезпечення; Дані.		<b>Канали збуду</b>  Продаж онлайн; Закупівля великими обсягами; Тендери.	
<b>Структура витрат</b>  Заробітна плата для розробників та менеджерів з продажу; Оплата виготовлення приладів; Оплата за користування хмарними сервісами; Маркетинг.		<b>Потоки надходження доходів</b>  Продаж приладів та ПЗ		

Після створення бізнес-моделі стало очевидним, за рахунок чого можна підвищити дохід компанії. А саме велика кількість даних, які

досить дорого коштують на ринку, адже використовуються для машинного навчання, дуже популярного та затребуваний напрямлення.

Стало очевидно, що можна зменшити велику статтю витрат – оплата хмарних сервісів, якщо підписати з цими сервісами партнерський контракт.

Бізнес-модель Остервальдера та Піньє коротко, але дуже інформативно описала структуру бізнес процесів майбутньої компанії.

#### 4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Метою даного підрозділу є визначення ринкових можливостей, котрі можливо використовувати під час впровадження проекту на ринок, та загрози, можливі при реалізації даного проекту.

Даний аналіз дозволяє оцінити усі ризики запровадження даного проекту на ринок та спланувати, з урахуванням цих даних, розвиток проекту в ринковому середовищі.

Задля цього було проведено аналіз попиту в Таблиця 4.5 : наявність попиту, динаміка розвитку та його обсяг.

Таблиця 4.5 Попередня характеристика потенційного ринку  
стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	70000
3	Динаміка ринку	Швидке зростання
4	Наявність обмежень для входу	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно отримати сертифікат для використання як медичного приладу
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Отже, зробивши аналіз попиту, можна зрозуміти, що даний ринок швидко зростає, що сприяє обсягу попиту та збільшує обсягу продаж. Також можна зробити висновок, що потрібно отримати сертифікат для даного проекту, аби використовувати його як медичний прилад.

Наступним кроком є визначення потенційних груп клієнтів, їх ознак та формування орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи клієнтів, це показує Таблиця 4.6.

Таблиця 4.6 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Потреба в якісному температурному скринінзі, навіть в місцях загального користування	Аеропорти, вокзали, медичні заклади, торгові центри та інші місця загального користування	Медичні заклади та місця загального користування мають різні цілі у використанні даного приладу	Якість, точність та швидкість даних про температуру, зручний інтерфейс, можливість скринінгу великого обсягу людей

Отже, зробивши висновки з даної таблиці, можна сказати, що цільовою аудиторією даного стартап проекту є медичні заклади та усі місця загального користування, де є велика кількість людей. Головними ж вимогами є точність, якість та швидкість температурного скринінгу та можливість точного визначення температури у великої кількості людей одночасно.

Також важливо враховувати потенційні загрози, котрі можуть виникати при застосуванні даної технології. Без врахування цих факторів неможливо об'єктивно оцінювати можливості виходу на ринок та

адекватно реагувати на можливі майбутні проблемні ситуації (Таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 Фактори загроз

п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
.	Конкуренція	Велика конкуренція на ринку	Моніторинг рингу та постійне покращення продукту
.	Брак	Поломки через брак елементів зборки чи неправильна зборка	Вилучення даної продукції та заміна на нову
.	Проблеми з програмним забезпеченням	Технічні несправності під час використання програмного забезпечення	Виявлення проблеми та її виправлення
.	Нова конкуруюча технологія	Поява технології, котра змінює ринок	Аналіз власної технології та її покращення
.	Підвищення ціни на виробництво	Зміна ціни на складові продукту, що спричинить підвищення ціни на сам продукт	Перегляд цін та пошук нових способів виробництва

Проаналізувавши усі загрози, можна стверджувати, що існують п'ять найголовніших загроз, котрі можуть виникнути в майбутньому користуванні цим продуктом. Найголовнішими можна визначити підвищення ціни на виробництво та поява нової конкуруючої технології, адже вони є більш складними та вимагають великих розумових зусиль та часу.

Також окрім загроз існують і можливості (Таблиця 4.8).

Отже, для даного стартап проекту існують як можливості, так і загрози, але усі загрози не катастрофічні і їх можна вирішити, а можливості реальні та значно покращують можливості для розвитку.

Далі проводиться аналіз пропозицій, що наявні на ринку для визначення ступеню та рис конкуренції (Таблиця 4.9).



Таблиця 4.8 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Медична потреба	Потреба більш точного способу з'ясування температури в усіх медичних закладах	Збільшення виготовлення продукції
2.	Розширення ринку збуту	Вихід даної продукції на світовий ринок	Збільшення аналітиків та виготовлення продукції
3.	Державне замовлення	Поява державного замовлення на дану технологію	Постійне покращення технології та збільшення виготовлення продукції
4.	Потреба дистанційного контролю	Поява масової потреби дистанційного контролю температури	Пошук можливостей збуту та збільшення виготовлення продукції
5.	Підтримка бізнесу	Державна підтримка малого та середнього бізнесу	Збільшення асортименту та постійне покращення продукції

Таблиця 4.9 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Мала група	В даному ринку існує невелика кількість компанії	Постійне покращення продукції та її привабливості для споживачів
Глобальний ринок	Дана технологія потрібна по всьому світу	Створення продукції, котру можна продавати в усіх країнах
Всеосяжність ринку	Не лише в одній галузі потрібна ця технологія	Постійне покращення продукції та її привабливості для споживачів
Не марочна	Покупці не орієнтуються на товарну марку	Покращення товару для збільшення її привабливості серед споживачів, рекламування та розширення можливостей продукту

Отже, зробивши аналіз пропозицій, що наявні на ринку для визначення ступеню та рис конкуренції, можна зробити висновок, що даний ринок характеризується невеликою кількістю компаній, що є конкурентами. Також можна стверджувати, що покупці не орієнтуються на товарну марку, тому потрібно постійно покращувати продукт, збільшувати його впізнаваність, аби зайняти власну нішу.

Наступним кроком є виявлення детальніший аналіз умов конкуренції в галузі (Таблиця 4.10).

Таблиця 4.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналіз у	Немає, оскільки у всіх відсутнє комплексування зображення	Усі, хто зможуть впровадити цю технологію, або впровадять нову конкуруючу технологію	Вплив на постачальників розміру можливих замовлень	Покращення якості температурного скринінгу в масових умовах	Існують, але не якісні
Висновки:	Низька конкуренція	Великі можливості для виходу на ринок	Великий вибір можливих постачальників	Для клієнтів дана продукція є затребувана	Низька конкуренція

Отже, дана система є конкурентоспроможною та має великі можливості для виходу на ринок, адже конкуренти не мають технології комплексування, котре покращує аналіз температури.

В наступній Таблиця 4.11 визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Ці дані засновані на попередніх аналізах конкурентів, можливих загрозах та можливостях.

Також необхідно провести порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту (Таблиця 4.12).

Таблиця 4.11 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Якісна продукція	Якісна продукція підвищує привабливість продукції та збільшення попиту
2	Ціна	Нижча ціна, ніж у конкурентів збільшує попит
3	Інноваційність	Інноваційна технологія відкриває нову ніше ринку та збільшує попит
4	Отримання сертифікатів та патенту	Отримання таких документів збільшує рівень довіри споживачів
5.	Обслуговування	Постійне обслуговування підвищує привабливість продукції та збільшення попиту

Таблиця 4.12 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Наявність патентів	16	+							
2	Велика кількість постачальників	15				+				
3	Висока якість	17				+				
4	Технічна підтримка	19					+			
5.	Ціна	14		+						

Отже, з таблиць 4.11 та 4.12 видно, що даний стартап проект має великі перспективи конкурентоспроможності. Головними перевагами цієї технології є її нижча ціна, ніж у конкурентів, постійне обслуговування та інноваційних характер технології.

Останнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (аналіз сильних, слабких сторін, загроз та можливостей). Дана матриця наведена в Таблиця 4.13

Таблиця 4.13 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Менша ціна, ніж у конкурентів</li> <li>2. Інноваційна технологія</li> <li>3. Є можливість сканування в масці чи ні</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Немає власного виробництва</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява державної допомоги</li> <li>2. Поява державного замовлення на дану технологію</li> <li>3. Медична потреба</li> <li>4. Розширення ринку збуту</li> <li>5. Потреба дистанційного контролю</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкуренція</li> <li>2. Брак</li> <li>3. Проблеми з програмним забезпеченням</li> <li>4. Поява нової конкуруючої технології</li> <li>5. Підвищення ціни на виробництво</li> </ol>

Враховуючи дані SWOT-аналізу потрібно розробити альтернативи поведінки на ринку задля виведення стартап проекту на ринок та приблизний час їх реалізації, враховуючи усіх потенційних конкурентів, можливостей, загроз, сильних та слабких сторін. В Таблиця 4.14 аналізуються альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Таблиця 4.14 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	6 місяців
2	Поява державного замовлення	Висока	1 рік
3	Пошук інвестицій та вихід на глобальний ринок	Висока	1 рік

Розглянувши усі сильні та слабкі сторони, можливості та загрози впровадження стартап-проекту можна дійти до висновку, що основними альтернативами отримання ресурсів є стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу, поява державного замовлення та

пошук інвестицій та вихід на глобальний ринок, адже така ймовірність є висока, а строки реалізації оптимальними.

### 4.3. Розробка ринкової стратегії проекту

Для розроблення ринкової стратегії першочергово необхідно визначити цільові групи потенційних споживачів продукту (Таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Група, де необхідно масово контролювати температуру тіла людини	Через попит – велика готовність	Високий попит	Прямої конкуренції в українському ринку немає. У світовому – конкуренція помірна.	Досить простий рівень входу через великий попит
<p>Які цільові групи обрано:  Під час аналізу потенційних груп споживачів, цільовими групами було обрано: місця масових заходів, такі як: стадіони та концертні зали; місця громадського користування, такі як, метрополітен, школи та інші; місця масового скупчення людей, такі як, торгові центри, міські базари, кінотеатри.</p>					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи потенційних споживачів нашого продукту та визначили основну стратегію захоплення ринку температурного скринінгу. Для роботи в обраному сегменті ринку сформовано базову стратегію розвитку (Таблиця 4.16).

В Таблиця 4.16 було визначено альтернативу розвитку продукту, а саме удосконалення точності продукту. За базову стратегію охоплення ринку було обрано диференційований маркетинг.

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Удосконалення точності продукту	Диференційований маркетинг	Якість, точність виміру, програмне забезпечення, формування лояльності і прихильності споживачів	Стратегія диференціації

Далі необхідно визначити базову стратегію конкурентної поведінки (Таблиця 4.17).

Таблиця 4.17 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Шукати нових споживачів	Ні	Наступальна

Необхідно розробити стратегію позиціонування (Таблиця 4.18), яка собою представляє ринкову позицію, за якою споживачі будуть ідентифікувати проект. Ця стратегія створюється в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки, а також на основі вимог споживачів з обраного сегменту.

Таблиця 4.18 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Якість, точність та швидкість даних про температуру, зручний інтерфейс, можливість скринінгу великого обсягу людей	Стратегія диференціації	Якість, точність виміру, програмне забезпечення, формування лояльності прихильності споживачів	Якість Зручність використання Надійність

Як результат даного підрозділу було сформовано базову стратегію ринкової поведінки компанії, яка визначає напрямок роботи компанії на ринку.

#### 4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першочергово для формування маркетингової програми стартап-проекту, необхідно, сформувати базові переваги концепції переваг потенційного продукту. Для цього у Таблиця 4.19 проведемо попередній аналіз конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.19 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Точний масовий контроль температури тіл людей	Зручне програмне забезпечення та інноваційну візуалізацію результату	Комплексування зображень Автоматичний аналіз даних Автоматизація

Далі необхідно розробити трьох рівневу маркетингову модель продукту Таблиця 4.20.

У таблиці Таблиця 4.20 було створено трьох рівневу модель продукту, до скалу якої входить задум товару, реальне використання товару та основні характеристики готового продукту до та після продажу.

Таблиця 4.20 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Тепловізор для масового виміру температури тіла людей		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1) Автоматичний контроль температури тіла великої кількості людей	Нм	Тх
	2) Комплексування зображень	Нм	Тх
	Якість: відповідає вимогам Технічного Регламенту України щодо медичних виробів №753		
	Пакування: спеціалізований контейнер для зберігання		
Марка: «Temperature control»			
III. Товар із підкріпленням	До продажу є можливість тест драйву приладу на місці.		
	Після продажу включає гарантійне обслуговування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок оформлення патенту та захищення програмного забезпечення алгоритмами блокування не зареєстрованого використання.			

Наступним кроком є формування меж встановлення цін (Таблиця 4.21), що передбачає аналіз цін конкурентів та доходів споживачів.

Таблиця 4.21 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	80 000 грн	100 000 грн	5 000 000 грн	60 000-100 00 грн

В цій таблиці було проаналізовано та визначено межі встановлення цін для споживачів. На основі рівня цін товарів-замінників, рівня цін на аналоги, доходи цільової групи споживачів.



Формування системи збуту показано в Таблиця 4.22.

З Таблиця 4.22 можна зробити висновок, що оптимальною системою збуту є оптовий продаж продукції. Основним каналом збуту при цьому є продаж через інтернет.

Таблиця 4.22 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж онлайн Закупівля великими обсягами	Продаж товару клієнту, калібрування та обслуговування товару	Висока	Оптовий продаж продукції

Останнім етапом розроблення маркетингової програми стартап-проекту є розробка концепції маркетингових комунікацій (Таблиця 4.23), що спирається на попередні таблиці.

Таблиця 4.23 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Закупівля великими обсягами, замовлення товарів онлайн	Інтернет Публікації Конференції Виставки	Якість Зручність використання Надійність	Донести переваги продукту	«Для стрімкого зменшення рівня захворюваності COVID-19 необхідно завчасно виявляти хворих. З цим вам допоможе тепловізор з комплексуванням зображень»

Результатом даного підрозділу є повністю готова концепція маркетингових комунікацій, що включає в собі ключові переваги концепції потенційного товару, трьох рівневу маркетингову модель продукту, визначені межі встановлення ціни, сформовану систему збуту та концепцію маркетингових комунікацій. Завдяки розробленій маркетинговій концепції компанія буде мати перевагу над конкурентами маркетингу.

#### **Висновки до розділу 4**

Провівши детальний аналіз ідеї стартап проекту, можна зробити висновок, що дана тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображень, котра покликана підвищувати точність та інформативність термограм заради отримання достовірної інформації щодо температури людей в попередженні розповсюдження інфекційних захворювань, є конкурентоспроможною та має великі шанси виходу на ринок.

Даний проект має переваги перед конкурентами, котрі присутні на ринку, - розроблена система дешевша ніж її аналоги на ринку та в ній наявне комплексування зображень, чого немає в жодного з конкурентів. У даному продукті наявне детектування чи в масці людина, чи ні, що дуже важливо та актуально в даний час в усьому світі. Також було виявлено, що ринок, на який претендує даний стартап проект, швидко зростає та розвивається, що збільшує шанси успішного виходу на нього.

Головними споживачами являються медичні заклади та місця загального користування, де є потреба в точному температурному скринінзі великої кількості осіб одночасно.

Основними можливостями проекту є поява державного замовлення та розширення ринку збуту, а загрозами – поява нової конкуруючої технології й підвищення ціни на виробництво відповідно.

Альтернативою розвитку продукту було визначено удосконалення точності продукту, а за базову стратегію охоплення ринку було обрано диференційований маркетинг та стратегію позиціонування.

За оптимальну систему збуту було обрано оптовий продаж продукції, основним каналом збуту – продаж через інтернет.

Також було розроблено трьох рівневу маркетингову модель продукту, визначені межі встановлення ціни.

Отже, можна зробити висновок, що дана ідея стартап проекту має вагомі переваги над своїми конкурентами на ринку, адже вона використовує конкуруючу інноваційну технологію комплексування зображень, котру доцільно використовувати при вимірюванні температури великої кількості людей. Дана система більш приваблива для покупців, адже вона має нижчу ціну, автоматизацію та збереження даних. Також ця технологія може вийти на глобальний ринок, або отримати державне замовлення, адже нині значно зростає потреба у масовому скринінгу температур аби не допустити розповсюдження інфекційних захворювань.

## ВИСНОВКИ

Як показав нам останній рік, людство, не зважаючи на експоненціальний ріст нових технологій, досі не готове до епідемій вірусних захворювань, таких як COVID-19. Тому розробка системи, що здатна з високою достовірністю виявляти підвищену температуру у інфікованих, та програмного забезпечення для реалізації цього завдання, не просто актуально як ніколи – це питання майбутньої безпеки всього людства.

В ході роботи та аналізу літературних джерел проведено ознайомлення з принципами роботи, типами та аналогами розроблюваної системи. Були виділені основні характеристики, що потрібно покращити при розробці приладу, а також обґрунтовано необхідність автоматизації таких приладів і систем.

Як було виявлено на основі іноземних публікацій, областю, яка найбільш корелює своєю температурою з температурою вуха, є ділянка біля очей. Ефективне вимірювання температурної кривої потоку людей стандартними засобами, такими як, термометри та пірометри – неможливе. Тому, як засіб для вимірювання температури, було обрано тепловізор.

Розроблено двоканальну оптичну систему з ТВ та ІЧ каналами. Синтез та моделювання оптичних каналів проведено в програмі ZEMAX. Підібрані датчики зображення для обох каналів, чутливість яких повністю збігається з діапазоном довжин хвиль, необхідних для вирішення поставленої задачі. Як було показано, змодельована система має хороші характеристики та чітке зображення.

Необхідність двох оптичних каналів обумовлена тим, що алгоритмів, здатних виявити область очей на термограмі, не існує, тому було вирішено використати властивості комплексування зображень,

тобто поєднання інформативних параметрів множини зображень у результуюче зображення.

Підчас роботи над дисертацією було розроблено 3 програми та навчено одну нейронну мережу, а саме: програма для дослідження впливу комплексування на інформативність зображення, завдяки якій було доведено збільшення інформативності комплексованого зображення в порівнянні з вхідними зображеннями, програма для зміни кольорової палітри термограми, програма для виміру температури тіла з використанням комплексування зображень, яка здатна вимірювати температуру в області очей та нейронна мережа, що здатна визначити по зображенню в масці людина чи ні. Метою розробки цих програм є автоматизація процесу обробки та аналізу термограм, а саме виявлення такого симптому вірусного захворювання, ознаки наявності запального процесу та патології організму людини як підвищена температура тіла.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Богданова Т. М. Мониторинг кожной температуры тела человека и его применение в клинической практике // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2013. – №. 10-2. – С. 242-245.
- [2] Коровина Н. А. Лихорадка. Многообразие причин и сложность решения / Н. А. Коровина, И. Н. Захарова, Е. М. Овсянникова // *Медицинский совет*. – 2013. – №. 2-3.
- [3] Жданов К. В. Иммуно-патогенетические аспекты лихорадки у инфекционных больных // *Журнал инфектологии*. – 2014. – Т. 5. – №. 1. – С. 5-17.
- [4] Железнова А. Д. Диагностика коронавирусной инфекции / А. Д. Железнова, А. М. Буфетова // *Медицинское образование сегодня*. – 2020. – №. 3. – С. 140-149.
- [5] Сотников А. Л. Контроль температуры работников как фактор промышленной безопасности предприятий и организаций / А. Л. Сотников, Д. А. Вишневыский, Б. А. Сахаров // *Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике*. – 2020. – С. 181-185.
- [6] Прошкин С. С. К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора // *Вестник международной академии холода*. – 2014. – №. 1.
- [7] Муравйов О. В. Термографічна діагностика як сучасний засіб виявлення патологій організму та перспективи її застосування у медицині / О. В. Муравйов // *Матеріали ІІІ науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі» з міжнародною участю – NDT – UA 2019, 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна*. – Київ : УТ НКТД, 2019. – С. 22-24.

- [8] Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине // *Успехи физических наук*. – 2006. – Т. 176. – №. 12. – С. 1293-1320.
- [9] Муравьев А. В. Термографическая диагностика как современное средство обнаружения патологий организма человека / А. В. Муравьев // *Приборостроение – 2019: материалы 12-й Международной научно-технической конференции*. – Минск, Белоруссия, 2019. – С. 314-316.
- [10] Ng E. Y. K. Analysis of IR thermal imager for mass blind fever screening / E. Y. K. Ng, G. J. L. Kawb, W. M. Chang // *Microvascular research*. – 2004. – Т. 68. – №. 2. – С. 104-109.
- [11] Сторожик Д. В. Застосування мультиспектрального комплексування зображень у неруйнівному контролі / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // *XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 323-326.
- [12] Гривачевський А. П. Підвищення інформативності мультиспектральних зображень шляхом мультимодального комплексування / А. П. Гривачевський, І. Н. Прудюс // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2018. – № 73. – С. 40-49.
- [13] Сторожик Д. В. Комплексування зображень, як спосіб покращення якості бінарної сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня*. – Київ, Україна. – 2019. – С. 290-293.
- [14] Гривачевський А. П. Суміщення зображень сформованих сенсорами різної фізичної природи в процесі комплексування сигналів в мультиспектральних системах моніторингу / А.П. Гривачевський, С.Є.

- Фабіровський // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. –2017. – No 874: Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 73-80.
- [15] Сторожик, Д. В. Комплексування зображень ультразвукової та комп'ютерної томографії / Д. В. Сторожик // *XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції.* – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 327-329. – Бібліогр.: 8 назв.
- [16] Lee M. W. Image fusion of real-time ultrasonography with computed tomography: factors affecting the registration error and motion of focal hepatic lesions / Lee M. W., Park H. J., Kang T. W. та ін. // *Ultrasound in medicine & biology*, 43(9) –2017. – С. 2024-2032.
- [17] Bendtsen T. F. The suprasacral parallel shift vs lumbar plexus blockade with ultrasound guidance in healthy volunteers—a randomised controlled trial. / Bendtsen T. F., Pedersen E. M., Haroutounian S. та ін. // *Anaesthesia*, 69(11). –2017. – С. 1227-1240.
- [18] Визильтер Ю. В. Проблемы Технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // *Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010: Труды научно-технической конференции-семинара.* – М.: 2011. – С. 11-44.
- [19] Васильев А. С. Критерии оценки качества процесса комплексирования изображений в многоспектральных оптико-электронных системах / А. С. Васильев, А. Н. Тимофеев, А. В. Васильева, С. А. Ряпосов // *Изв. вузов. Приборостроение.* – 2017. – 60(7). – С. 647-653. DOI:10.17586/0021-3454-2017-60-7-647-65
- [20] Захаров А. В. Критерии оценки качества сегментации изображений / А. В. Захаров, П. П. Кольцов, Н. В. Котович, А. А. Кравченко, А. С.



- Куцаев, А. С. Осипов // *Труды НИИСИ РАН*, Том 2, 2012. – № 2. – с. 87-99.
- [21] Тепловизор ПЕРГАМЕД-Барьер. – Режим доступа: <https://www.pergam.by/catalog/cctv/ohrannye-teplovizory/statsionarnye/pergamed-barrier.htm>. – 25.10.2020.
- [22] Тепловизионная камера Dahua Technology TPC-BF5421-T – Режим доступа: <https://pipl.ua/ru/dahua-technology-tpc-bf5421-t/>. – 25.10.2020.
- [23] Hikvision DS-2CD2041G1-IDW1 – Режим доступа: <https://pipl.ua/hikvision-ds-2cd2041g1-idw1-28-mm/>. – 25.10.2020.
- [24] Кучеренко О. К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О. К. Кучеренко, А. В. Муравьёв // *Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування*. – 2012. – вип. №43. – С. 46–53.
- [25] Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В.М. Тягур, О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев. // *Оптический журнал*. – 2014. – том 81. – № 4. – С. 42-47.
- [26] Муравйов О. В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О.В. Муравйов, О.О. Назарчук // *Вісник інженерної академії України*. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.
- [27] Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.
- [28] Муравьёв А. В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А. В. Муравьёв, О. К. Кучеренко // *Наука и техника*. – 2015. – №4. – С. 32 – 37.
- [29] Муравьёв А. В. Пассивная оптическая атермализация и ахроматизация трехлинзового ИК объектива / А. В. Муравьёв, О.К.

- Кучеренко // Тези „Приладобудування: стан і перспективи” . – НТУУ “КПІ” . – 2014 р. – С. 68- 69.
- [30] Крат А. В. Термостабилизация диоптрических объективов инфракрасной техники / А. В. Крат, А. В. Муравьев // *Новые направления развития приборостроения: материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 26-28 апреля*. – Минск, Беларусь, 2017. – С. 47.
- [31] Муравьев А. В. Пассивная оптическая термостабилизация ИК диоптрических объективов / А. В. Муравьев // *Приборостроение - 2015: материалы 8-й Международной науднотехнической конференции* – Белоруссия, Минск, 2015. – Том 2. – С. 111–112.
- [32] Muraviov, O. V. Passive optical athermalization of dioptric lenses for thermal imaging devices / Muraviov O. V. // *XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р.. Київ, Україна : збірник матеріалів конференції*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 137-139. – Бібліогр.: 7 назв.
- [33] Кучеренко О.К., Муравьев А.В., Куцурук В.Н. Влияние температуры на терморасфокусировку фокусирующего узла в инфракрасных системах // *Вісн. НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобуд.* – 2010. – Вип. 40. – С. 32–37.
- [34] Муравьев А. В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьев, Е.А. Назарчук // *Вісник інженерної академії України*. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.
- [35] Муравьев А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьев // *Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции*. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.

- [36] Кучеренко О. К. Вплив температури на абераційні властивості ІЧ-об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. – 2013. – № 1. – С. 99-105.
- [37] Muraviov, O. V. Image quality thermal stabilization of the lenses for medical thermography camera / Muraviov O. V. // *XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 105–107. – Бібліогр.: 6 назв.
- [38] Muraviov, O. V. Passive optical athermalization of objective for medical heat vision / O. V. Muraviov // *XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 162.
- [39] Muraviov O. V. Passive thermostabilization of medical thermography camera optical system / O. V. Muraviov // *Тези доповіді XVII Міжнародної науковотехнічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”*. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2018 р. – С. 144.
- [40] Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // *Journal of Optical Technology*. — vol. 81 (4). — 2014. — pp. 199–203.
- [41] Muraviov O. V. Passive thermostabilization of medical thermography camera optical system / O. V. Muraviov // *Тези доповіді XVII Міжнародної науковотехнічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”*. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2018 р. – С. 144.

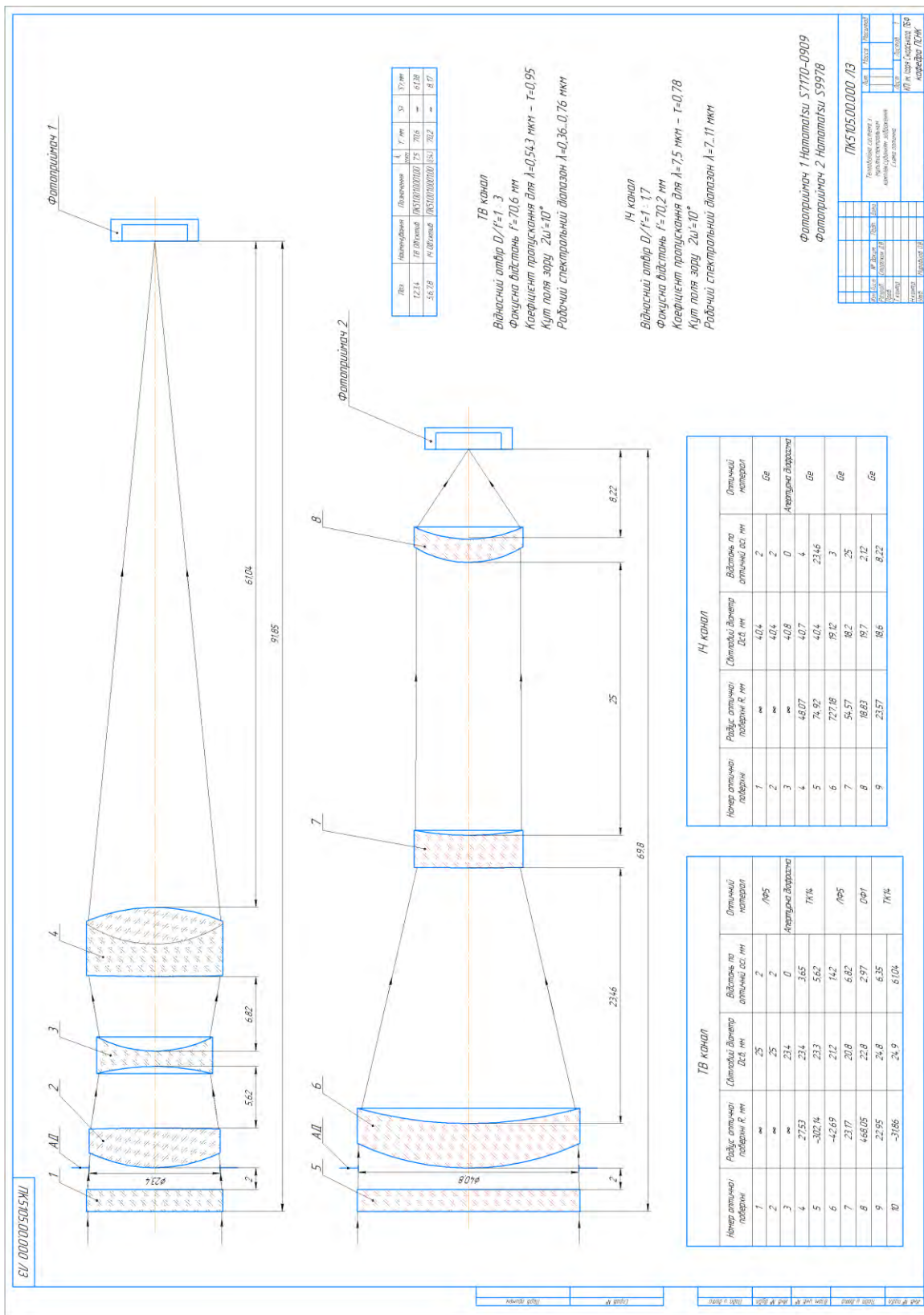
- [42] Муравьёв А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьёв // *TRENDS OF MODERN SCIENCE*. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
- [43] Муравьёв А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьёв // *TRENDS OF MODERN SCIENCE*. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
- [44] Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // *Біомедична інженерія*. – 2017. – №5. – С. 66–67.
- [45] Муравйов О. В. Пасивна оптична атермалізація діоптрійних об'єктів інфрачервоних приладів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.07 "Оптичні прилади та системи" / Муравйов Олександр Володимирович – Київ, 2015. – 22 с.
- [46] Муравьёв А. В. Термостабилизация качества изображения инфракрасных диоптрических объективов / А. В. Муравьёв // *Тези доповіді XVI Міжнародної науково-технічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”*. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2017 р. – С. 132.
- [47] Сторожик, Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // *Наукові вісті КПІ*. – 2020. – № 2. – С. 82-87.
- [48] Стасишин О. В. Термографічна діагностика та аналіз теплових зображень в медичній практиці / О. В. Стасишин, О. В. Муравйов // *XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 396–399.

- [49] Protasov A. Reconstruction of the thermal field image from measurements in separate points / A. Protasov // *5th IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2017; National Aviation University (NAU) Kyiv; Ukraine.* – 2017. – С. 89-92.
- [50] Emgu CV – Режим доступу: [http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page). – 25.10.2020.
- [51] Бруслик М. О. Обнаружение объектов с помощью систем компьютерного зрения / М. О. Бруслик, А. В. Муравьев // *Новые направления развития приборостроения: материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 26-28 апреля.* – Минск, Беларусь. – 2017. – С. 27-28.
- [52] Бруслик М. О. Системи комп'ютерного зору в технології доповненої реальності та їх використання в навчанні / М. О. Бруслик, О. В. Муравйов // *XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня.* – Київ, Україна. – 2018. – С. 389-391.
- [53] Гавриш О. А. Розробка стартап-проектів: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська // *КПІ ім. Ігоря Сікорського* – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.
- [54] Гавриш О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційновимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська // *КПІ ім. Ігоря Сікорського* – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

# ДОДАТКИ

# ДОДАТОК А

## Схема оптична







## ДОДАТОК В

### Фрагмент программного коду, що являю собою базовий клас комплексування на рівні пікселів

```
PixelByPixelFusion.cs* MainForm.cs MainForm.cs [Конструктор]
Multispectral_Image_Integration_Library Multispectral_Image_Integration_Library.PixelByPixelFusion PixelFusion(FastBitmap img1, FastBitmap img2, Func<byte, byte, byte>
1 using System;
2
3 namespace Multispectral_Image_Integration_Library
4 {
5     /// <summary>
6     /// Клас реалізуючий по піксельне слияние двух изображений с выбором метода слияния.
7     /// </summary>
8     public abstract class PixelByPixelFusion
9     {
10         /// <summary>
11         /// Метод реалізуючий по піксельне слияние двух изображений с выбором метода слияния.
12         /// </summary>
13         /// <param name="img1">Первое изображение</param>
14         /// <param name="img2">Второе изображение</param>
15         /// <param name="method">Функция что реализует особенность метода</param>
16         /// <returns></returns>
17         protected FastBitmap PixelFusion(FastBitmap img1, FastBitmap img2, Func<byte, byte, byte> method, int tabOrderY = 1)
18         {
19             if (img1.Width != img2.Width || img2.Height != img2.Height)
20             {
21                 throw new ArgumentException("Изображения должны быть одного размера");
22             }
23             var imgResult = img1.Clone();
24             for (int x = 0; x < imgResult.Width; x++)
25             {
26                 for (int y = 0; y < imgResult.Height; y += tabOrderY)
27                 {
28                     for (int color = 0; color < imgResult.DimensionsColor; color++)
29                     {
30                         imgResult[x, y, color] = method(img1[x, y, color], img2[x, y, color]);
31                     }
32                 }
33             }
34             return imgResult;
35         }
36     }
37 }
```

## ДОДАТОК Г

### Плакат «Тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображення»

# Тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображення

Схема оптична

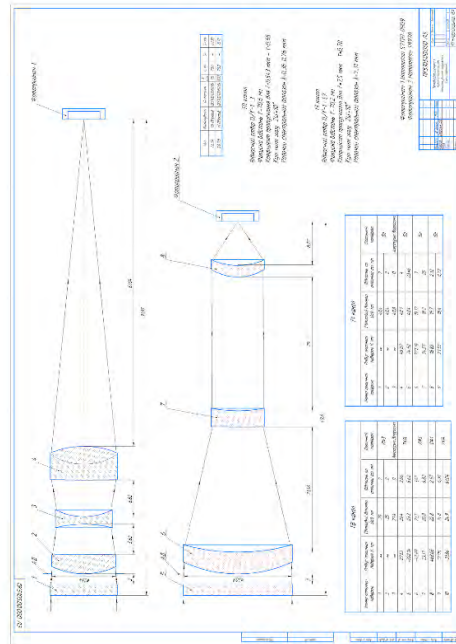
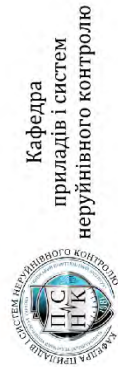
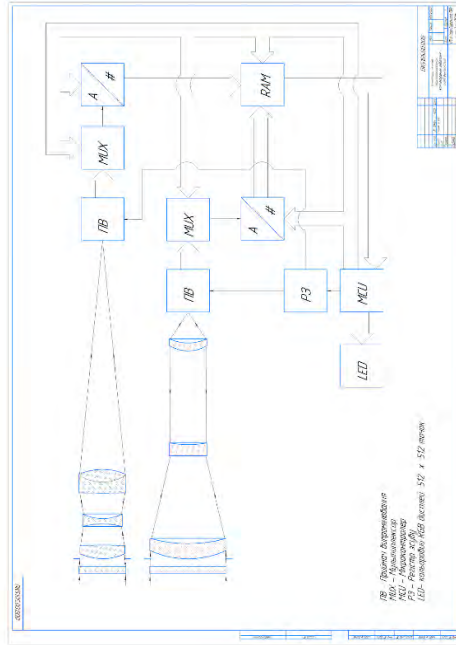


Схема функціональна



# ДОДАТОК Г

## Плакат «Моделювання оптичного тракту у програмі ZEMAX»

### Моделювання оптичного тракту у програмі ZEMAX

#### 1/4 канал

Таблиця простого зображення системи

Таблиця складного зображення системи

№	Тип	Середина	Радіус	Толщина	Матеріал	Значення	№	Тип	Середина	Радіус	Толщина	Матеріал	Значення
1	Вхідне поле	0	0	0	Вітряне скло	0	1	Об'єкт	0	0	0	Вітряне скло	0
2	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	2	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
3	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	3	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
4	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	4	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
5	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	5	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
6	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	6	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
7	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	7	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
8	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	8	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
9	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	9	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
10	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	10	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0

Функція концентрації енергії

Розподіл енергії на чотирьох площини/градусах дивергенції

#### ТВ канал

Таблиця простого зображення системи

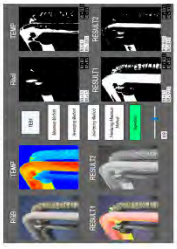
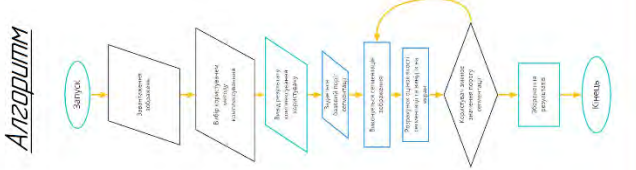

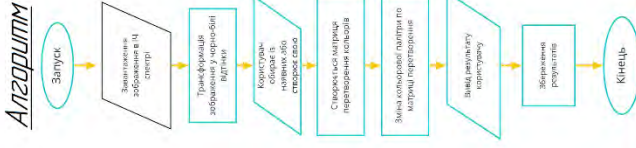
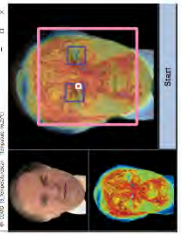

Таблиця складного зображення системи

№	Тип	Середина	Радіус	Толщина	Матеріал	Значення	№	Тип	Середина	Радіус	Толщина	Матеріал	Значення
1	Вхідне поле	0	0	0	Вітряне скло	0	1	Об'єкт	0	0	0	Вітряне скло	0
2	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	2	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
3	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	3	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
4	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	4	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
5	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	5	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
6	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	6	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
7	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	7	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
8	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	8	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0
9	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	9	Об'єкт	100	0	0	Вітряне скло	0
10	Розсіювач	100	0	0	Вітряне скло	0	10	Зображення	100	0	0	Вітряне скло	0

Легенда якості зображення системи за допомогою рами тест-об'єкта

# ДОДАТОК Д

## Плакат «Інтерфейси та алгоритми розроблених програм»

<p>Програма для дослідження впливу комплексування на інформативність зображення</p>	 <p><i>Інтерфейс</i></p>	<p><i>Алгоритм</i></p>  <pre> graph TD     Start([Зачаток]) --&gt; Step1[/Завантаження зображення з камери/]     Step1 --&gt; Step2[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step2 --&gt; Step3[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step3 --&gt; Step4[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step4 --&gt; Step5[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step5 --&gt; Step6[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step6 --&gt; Step7[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step7 --&gt; Step8[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step8 --&gt; Step9[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step9 --&gt; End([Кінець])         </pre>
<p>Програма для зміни кольорової палітри термограми</p>	 <p><i>Інтерфейс</i></p>	<p><i>Алгоритм</i></p>  <pre> graph TD     Start([Зачаток]) --&gt; Step1[/Завантаження зображення з камери/]     Step1 --&gt; Step2[/Трансформувати зображення у матрицю палітри/]     Step2 --&gt; Step3[/Коректувати зображення з певних зон зображення/]     Step3 --&gt; Step4[/Створити нову матрицю палітри з певними зонами/]     Step4 --&gt; Step5[/Зміна кольорової палітри по матриці розгортання/]     Step5 --&gt; Step6[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step6 --&gt; Step7[/Збереження результату/]     Step7 --&gt; End([Кінець])         </pre>
<p>Програма для вимірювання температури тіла з використанням комплексування зображень</p>	 <p><i>Інтерфейс</i></p>	<p><i>Алгоритм</i></p>  <pre> graph TD     Start([Зачаток]) --&gt; Step1[/Завантаження зображення з камери/]     Step1 --&gt; Step2[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step2 --&gt; Step3[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step3 --&gt; Step4[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step4 --&gt; Step5[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step5 --&gt; Step6[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step6 --&gt; Step7[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step7 --&gt; Step8[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step8 --&gt; Step9[/Вибір потрібних зон комплексуючих елементів/]     Step9 --&gt; End([Кінець])         </pre>

## ДОДАТОК Е

### Список наукових праць

Ф. № 3.3

**СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ** Сторожика Дениса Володимировича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

№ з/п	Найменування праць	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	Контроль органічного забруднення поверхні методом флуоресценції	XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць	3	-
2	Застосування мультиспектрального комплексування зображень у неруйнівному контролі	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції	4	Муравйов Олександр Володимирович
3	Комплексування зображень ультразвукової та комп'ютерної томографії	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції	3	-
4	Комплексування зображень, як спосіб покращення якості бінарної сегментації	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції	4	Муравйов Олександр Володимирович
5	Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації	Наукові вісті КПІ. – 2020. – № 2	6	Муравйов Олександр Володимирович, Протасов Анатолій Георгійович, Баженов Віктор Григорович, Богдан Галина Анатоліївна

№	Датум	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
---	-------	-----------	-----------	-----------	-----------

Автор

*Сторожик*

Денис СТОРОЖИК

Зав. каф. ПСНК

Анатолій ПРОТАСОВ

№	Вид роботи	Назва видання	Кількість	Відомості	Відомості
п/п	п/п	назва видання (номер, рік) або номер авторства	кількість	назва видання (номер, рік) або номер авторства	назва видання (номер, рік) або номер авторства
1	1	XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-13 травня 2019 р.р.)	1	XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-13 травня 2019 р.р.)	Комп'ютерна копія
2	2	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-14 травня 2020 р.р.)	1	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-14 травня 2020 р.р.)	Комп'ютерна копія
3	3	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-14 травня 2020 р.р.)	3	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 12-14 травня 2020 р.р.)	Комп'ютерна копія
4	4	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 10-11 травня 2019 року)	4	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Юридичні майбутні» (Київ, 10-11 травня 2019 року)	Комп'ютерна копія
5	5	Наукові вісті КПІ – 2020, № 2	6	Наукові вісті КПІ – 2020, № 2	Комп'ютерна копія



Кафедра  
приладів і систем  
неруйнівного контролю

## **Тепловізійна система з мультиспектральним комплексуванням зображення**

Виконав студент ПК-91мп  
Сторожик Д.В.  
Науковий керівник  
Муравйов О.В.

ДОДАТОК Є  
Слайди презентації

## **Мета, об'єкт та предмет дослідження**

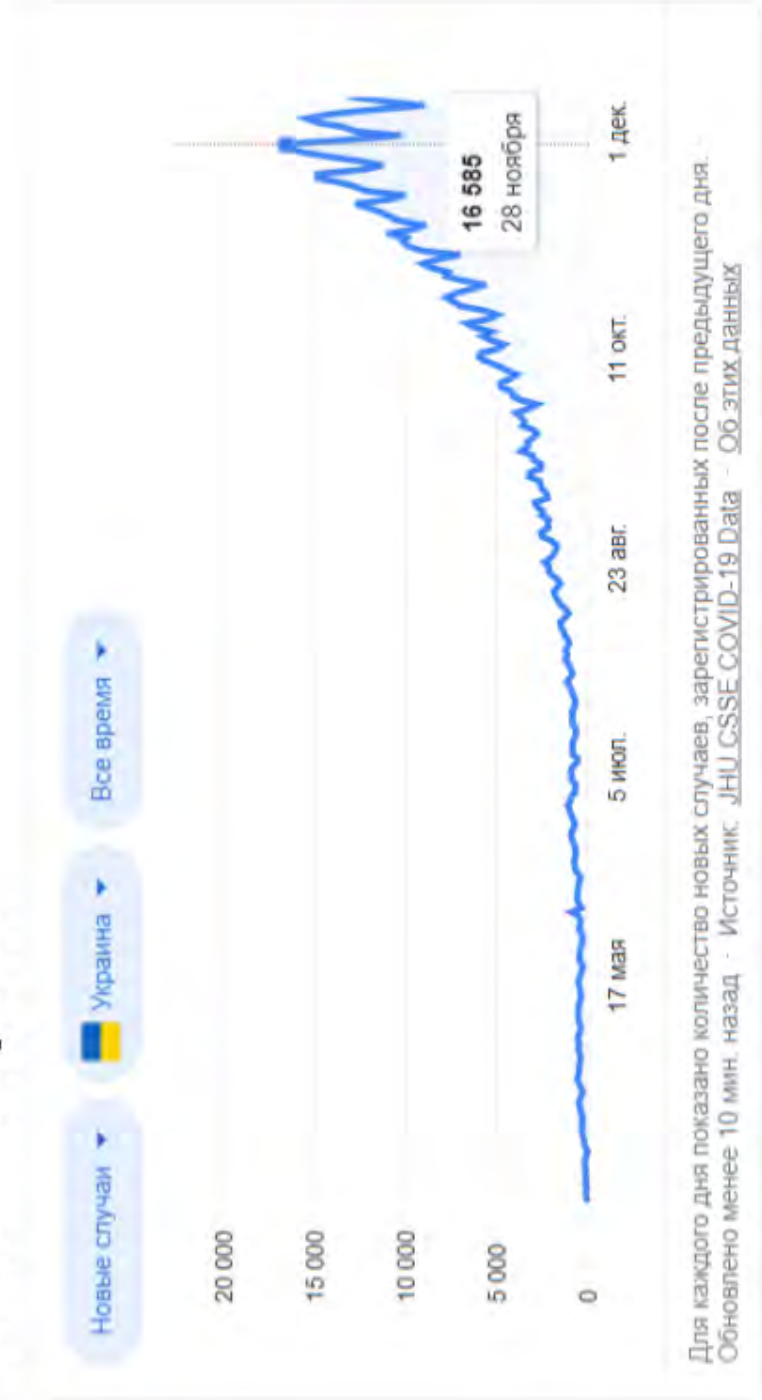
**Метою** роботи є вирішення наукової задачі аналізу методів комплексування зображень з метою оцінки їх ефективності для підвищення інформативності результуючого зображення та розробки двоканальної системи з мультиспектральним комплексуванням знімків.

**Об'єкт дослідження:** підвищення інформативності зображень, яке дало б змогу автоматизувати процес вимірювання температури людей в місцях їх масового скупчення.

**Предмет дослідження:** методи мультиспектрального комплексування зображень.



# COVID-19 в Україні

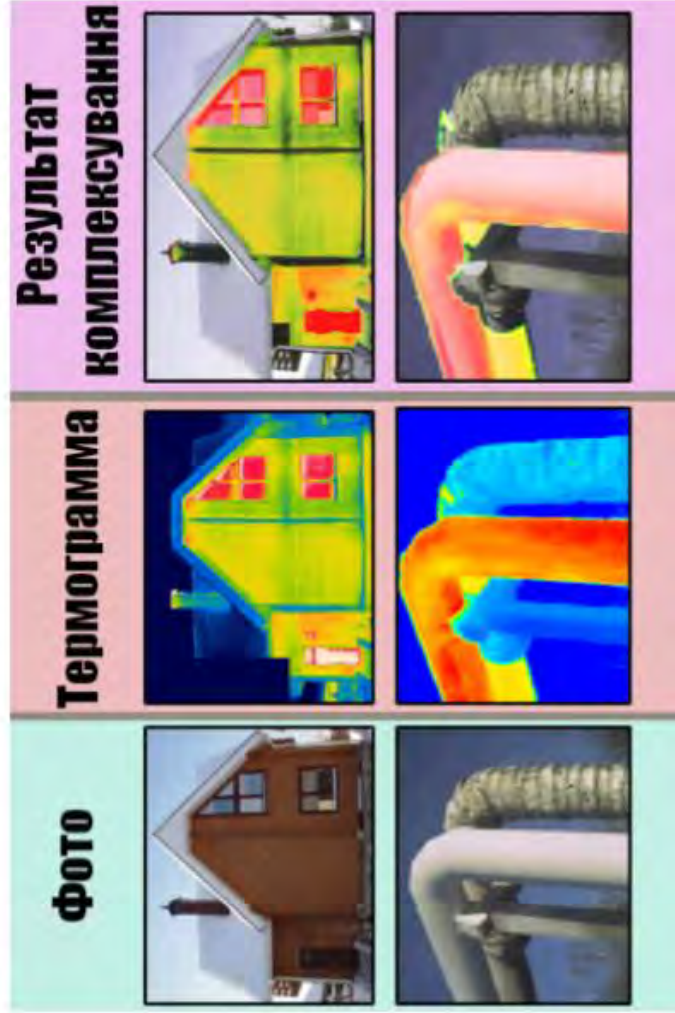


## Стратегія боротьби з COVID-19 від ВОЗ

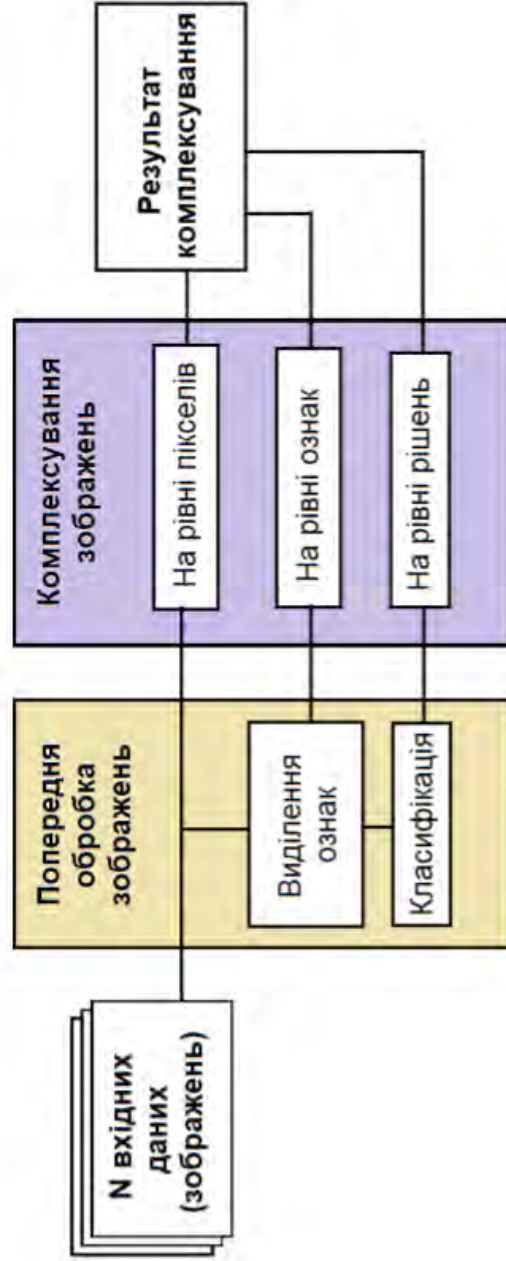
- **Контролювати** спорадичні випадки та осередки, запобігати передачу вірусу серед населення шляхом швидкого виявлення та ізолювання всіх випадків, надання належної медичної допомоги, введення карантину та підтримка для всіх хто контактував з хворими.
- **Пригнічувати** передачу вірусу серед населення шляхом заходів запобігання і контролю інфекції, загальних заходів фізичного дистанціювання, а також належних обмежень на внутрішні та закордонні поїздки, в яких немає нагальної потреби.

[https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/covid-19-strategy-update-2020-ru.pdf?sfvrsn=29da3ba0\\_19](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/covid-19-strategy-update-2020-ru.pdf?sfvrsn=29da3ba0_19)

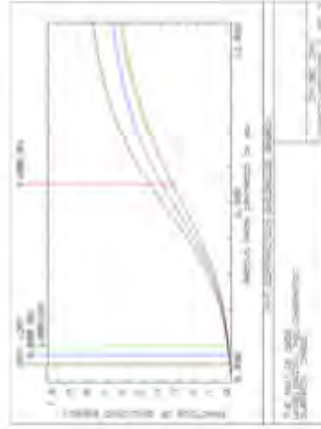
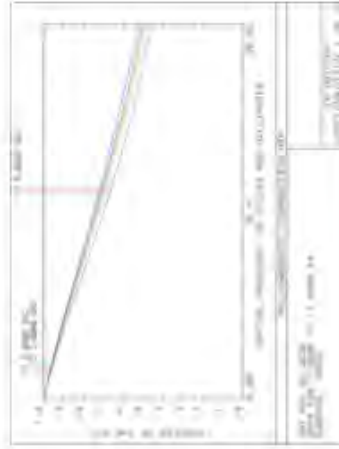
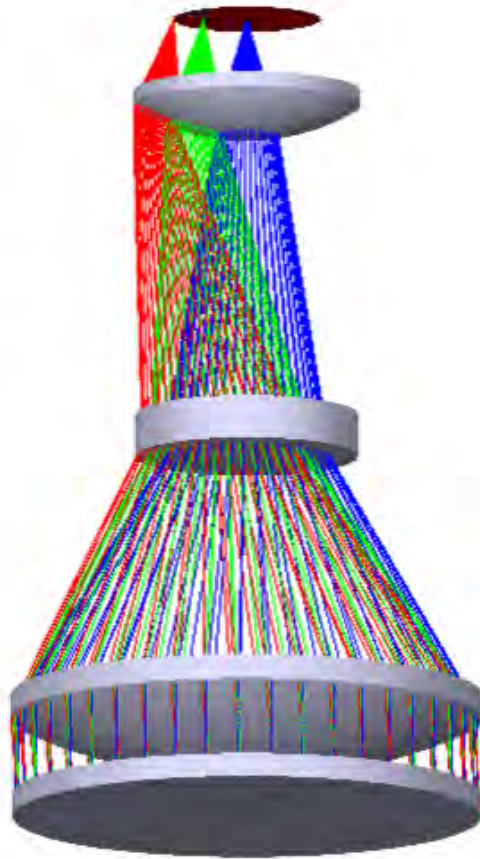
## Комплексування зображень



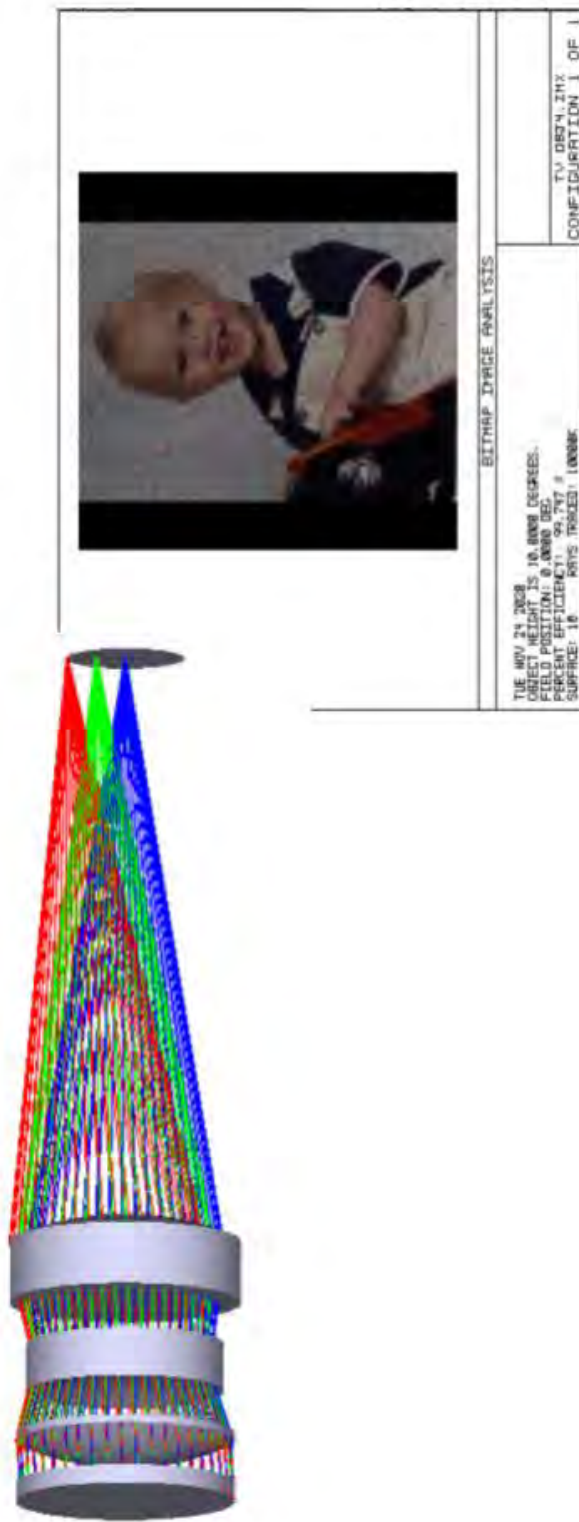
## Класифікація комплексування зображень



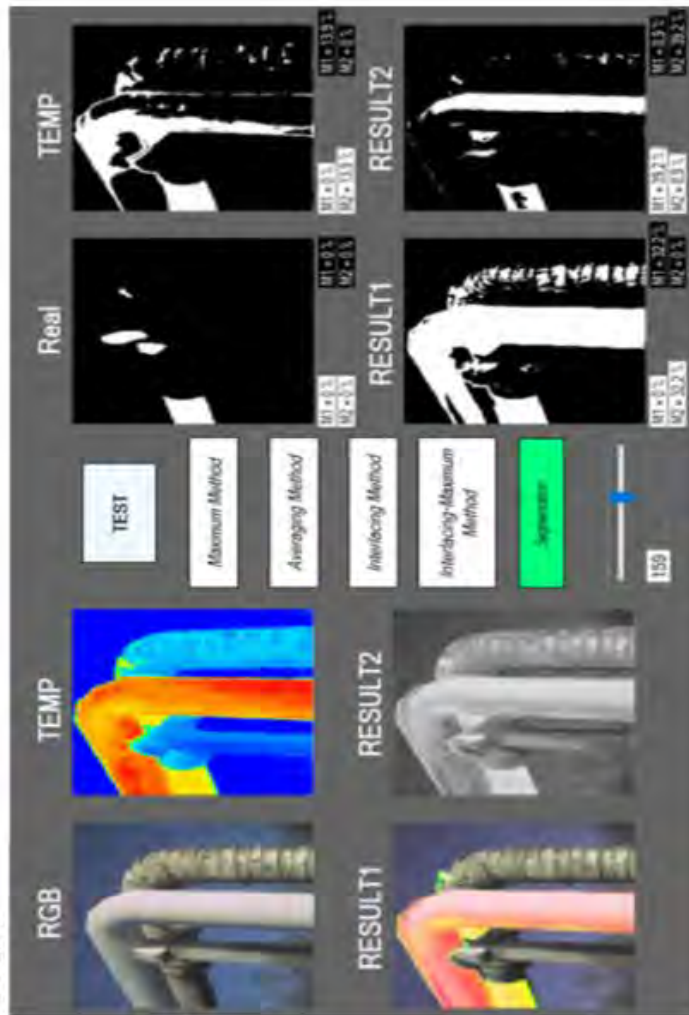
# Розробка ІЧ каналу оптичного тракту



## Розробка ТВ каналу оптичного тракту



# Дослідження інформативності комплексованого зображення

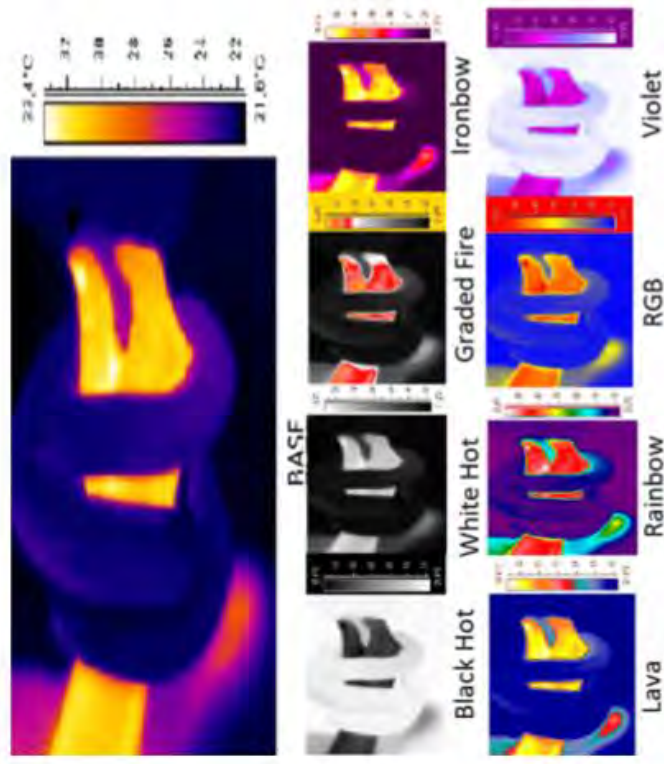


## Результати дослідження

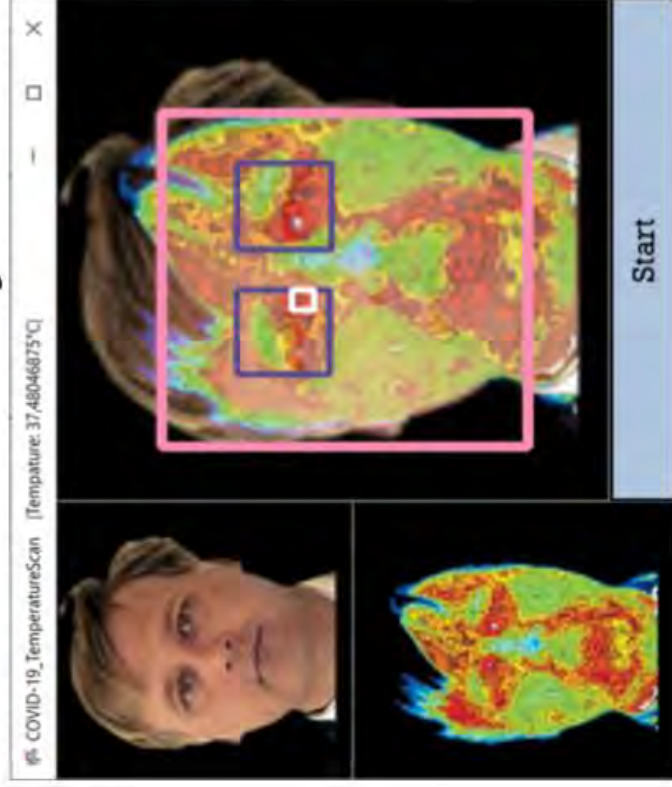




# Програма для для зміни кольорової палітри термограми



## Програма для вимірювання температури тіла з використанням комплексування зображень



# Нейронна мережа, що здатна визначати наявність маски на обличчі

