

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв  
(повна назва)

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

(позначення документа)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ЗОБРАЖЕННЯ  
ОПТИЧНОЇ І ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЕПШм-19-1

Євтушенко Б.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та  
пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф МЕЕПП Фролова Т.І

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 171 «Електроніка» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ «Електронні прилади та пристрої» \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСИРОВАНОГО  
ЗОБРАЖЕННЯ ОПТИЧНОЇ І ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

затверджена наказом по університету від 06.11 \_\_\_\_\_ 2020 р. № 1561 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

1 Сучасні методи комплексування зображень.

2 Фізико-математична модель системи.

3 Розробка методу для аналізу якості зображення

4 Результати комплексування зображень з оптичної та тепловізійної систем на прикладі виявлення літаючих апаратів

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_  
Презентація(слайди): 1 – Титульний лист, 2 – Сучасні багатоканальні оптико-електронні системи, 3 – Найпопулярніші методи комплексування зображень, 4 – Фізико-математичні моделі систем та дослідження результатів злиття їх зображень, 5 – Концепція методу для оцінки якості отриманих ображень на прикладі виявлення надземних апаратів, 6 – Математичне та графічне пояснення методу для розрахунку правильного та помилкового виявлення, 7 – Розробка програмного забезпечення для оцінки якості зображень, 8 – Порівняння отриманих графіків, 9 – Блок-схема та принцип роботи системи виявлення з розробленим методом, 10 – Висновки

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел на тему злиття зображень	09.11.2020 – 15.11.2020	Виконано
2	Теоретичні дослідження методів комплексування	16.11.2020 – 20.11.2020	Виконано
3	Дослідження злиття зображень вибраними методами	21.11.2020 – 28.11.2020	Виконано
4	Аналіз розрахунків та параметрів	29.11.2020 – 03.12.2020	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	04.12.2020 – 07.12.2020	Виконано
6	Оформлення демонстраційно-графічних матеріалів	08.12.2020- 09.12.2020	Виконано
7	Проходження нормоконтролю і отримання рецензії	10.12.2020 – 11.12.2020	Виконано
8	Підготовка та захист атестаційної роботи	12.12.2020 - 15.12.2020	Виконано

Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Студент \_\_\_\_\_  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
 (підпис) \_\_\_\_\_ (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи магістра містить: 57 с., 39 рис., 1 додаток, 15 джерел.

БАГАТОКАНАЛЬНА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА, БЕЗПЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, КОМПЛЕКСОВАНЕ ЗОРАЖЕННЯ, КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ, МЕТОД КОМПЛЕКСУВАННЯ, ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – процес спотворення оптичних сигналів при взаємодії з навколишнім середовищем.

Предмет дослідження – обробка та комплексування зображення за рахунок узагальнення інформаційних показників об'єктів у різноманітних спектральних діапазонах.

Мета роботи – удосконалення ймовірності правильного виявлення сигналу за допомогою комплексування зображень с декількох систем, збільшення загальної ефективності системи виявлення різних об'єктів, в тому числі безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Метод дослідження – в якості теоретичного методу був використаний літературний аналіз в якому розглянуті основні сучасні методи комплексування зображень та їх недоліки..

Моделювання та розрахунок імовірностних характеристик за допомогою розробленого методу оцінки зображень виступило в ролі експериментального дослідження.

## ABSTRACT

The explanatory note of the master's attestation work contains: 57 pages, 39 figures, 1 appendic, 15 sources.

MULTICHANNEL OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM, UNLANDLESS AIRCRAFT, IMAGE COMPLEXING, COMPLEXED INFLECTION, CRITERIA OF CRITERIA

The object of study - the process of distortion of optical signals when interacting with the environment.

The subject of research is image processing and complexation due to generalization of information indicators of objects in various spectral ranges.

The purpose of the work is to improve the probability of correct signal detection by combining images from several systems, increase the overall efficiency of the detection system of various objects, including unmanned aerial vehicles (UAVs).

Research method - as a theoretical method was used literature analysis which considers the main modern methods of image integration and their shortcomings ..

Modeling and calculation of probabilistic characteristics using the developed method of estimating fractures acted as an experimental study.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 МЕТОДИ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОПТИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМ.....	10
1.1 Багатоканальна оптико-електронна система.....	10
1.2 Методи комплексування зображень.....	14
1.2.1 Метод максимуму. ....	14
1.2.2 Метод маски. ....	15
1.2.3 Метод усереднення. ....	16
1.2.4 Метод ступеневого перетворення. ....	17
1.2.5 Метод черезрядкового комплексування .....	18
1.2.6 Метод вагової функції .....	20
1.2.7 Виділення країв за допомогою методу CANNY .....	21
1.3 Синхронізація зображень з різними просторовими спотвореннями отриманих з різних каналів багатоканальної оптикоелектронної системи. ....	25
1.4 Алгоритми оцінки якості зображення.....	29
1.5 Висновки .....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСУВАННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	31
2.1 Фізико-математична модель тепловізійної ОЕП .....	31
2.2 Фізико-математична модель тепловізійної оптичної системи .....	36
2.3 Фоноцільовий стан.....	37
2.4 Дослідження результатів злиття зображень для різних умов спостережень .....	40
2.5 Розробка методу для оцінки якості комплексованого зображення на прикладі виявлення літаючих апаратів .....	44

2.6 Висновки .....	46
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ПРАВИЛЬНОГО ТА ПОМИЛКОВОГО ВИЯВЛЕННЯ .....	47
3.1 Моделювання та розрахунок імовірносних характеристик.....	47
3.2 Принцип роботи системи виявлення БПЛА.....	52
3.3 Висновки .....	54
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	57
ДОДАТОК А .....	59
ДОДАТОК Б.....	60

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

UAV – Unmanned aerial vehicle

БКОЕС – багатоканальна оптико-електронна система

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

ДКОЕС – двоканальна оптико-електронна система

ТВ – телевізійний канал

ТПВ – тепловізійний канал

ОЕС – оптико-електронна система

ОС – Оптична система

ПІ – приймач випромінювання

ФЦО – фоноцільова обстановка

## ВСТУП

Сучасні багатоканальні оптико-електронні системи спостереження (БКОЕСС) мають в своєму складі сенсори різної фізичної природи. Кожен сенсор має унікальні властивості і характеристики і вносить свій вклад в зображення, яке аналізує людина-оператор..

Зображення, одержувані від різних типів двовимірних сенсорів, мають свої характерні яскраво-геометричні особливості, які обумовлені як фізикою формування самого зображення, так і характеристиками оптико-електронних трактів. Дані особливості в значній мірі визначають вибір алгоритмів попередньої обробки і розпізнавання. Так, істотні складності при обробці зображень в оптичному діапазоні представляють затемнені ділянки, на яких втрачають ефективність локальні і градієнтні алгоритми. У той же час, зображення в ІЧ-діапазоні має властивість відсутності тіней, що дає можливість виділити тіні на оптичному зображенні в разі спільної обробки зображень, одержуваних від ТБ і ІЧ-сенсорів. Зображення, одержувані в міліметровому діапазоні, характеризуються гарною якістю в умовах дощу, туману, хмарності, проте геометричні розміри об'єктів сцени на таких зображеннях значно відрізняються від дійсних. Таким чином, комплексна обробка зображень в різних спектральних діапазонах надає додаткові можливості при автоматизації обробки і розпізнавання.

Мета роботи: покращити споживчі якості оптико-електронних систем спостереження. Для досягнення даної мети потрібно виконати наступні задачі: оглянути сучасні рішення комплексування зображень з декількох систем; обрати один з методів та провести дослідження його роботи; розробити метод для оцінки якості зображень с телевізійної та тепловізійної систем.

# 1 МЕТОДИ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОПТИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМ

## 1.1 Багатоканальна оптико-електронна система

Дії нинішніх багатоканальних оптико-електронних систем (БКОЕС) були б неможливі без застосування методів комплексування зображень. Саме методи комплексування зображень дозволяють істотно збільшити ефективність БКОЕС, поліпшити й спростити процеси сприйняття та аналізу одержуваних зображень за рахунок узагальнення інформаційних показників об'єктів у різноманітних спектральних діапазонах.

Значного поширення набули системи, які мають тепловізійну та телевізійну камеру. Тепловізійний канал необхідний для отримання сигналу в інфрачервоному діапазоні спектра. Зазначений канал дозволяє виявляти та ідентифікувати об'єкти, які забезпечені тепловим контрастом. Телеканал володіє різнокольоровим контрастом і призначений для отримання зображення у безпосередньо видимому діапазоні спектра.

Врешті, під комплексуванням зображень варто розуміти таке поєднання кількох зображень, яке призводить до підвищення якості інформативності в порівнянні із аналізованими самостійними вихідними відображеннями.

Оптико-електронні системи (ОЕС) знаходять все більше та значно ширше застосування у різноманітних галузях науки та техніки. Сьогодні етапи розвитку дають можливості вирішенню непростих завдань щодо виділення надзвичайно корисного оптичного сигналу на фоні зайвих шумів і різноманітних відбиваючих полів, шляхом прийому випромінювання у двох чи навіть більше оптичних спектрах. Тобто, безпосередньо створюють багаточисельні спектральні оптико-електронні системи.

Многомірність оптичних сигналів, а також можливість приймати і обробляти у реальному часі значні об'єми інформації, вигідно ставлять ОЕС на перше місце серед систем автоматичного виявлення та розпізнавання сигналів на фоні усіляких природних та організованих шумів.

Загальновідомо, що використання двох чи бодай навіть більше спектральних діапазонів при спектральній оптичній фільтрації, помітно та ефективно підіймають рівень роботи самої системи. Та ще й при цьому, додатковою властивістю виявляється ще й те, що оптимальним діапазоном для виявлення будь-якого об'єкту, може використовуватися один, а ось для його дослідження – інший.

Такі системи удосконалюються та мають розвиток протягом щонайменше останніх 30-40 років. Вони знаходять використання у багатьох галузях народного господарства, як от: у медицині, при дистанційному зондуванні планетарної Землі та інших навколосемних планет, у моніторингу екологічного стану екосистем, у військовій справі, в науці та техніці. Небезпідставно людство очікує широке застосування БОЕС і в апаратурі для здійснення контролю за виготовленням і розповсюдженням ядерної, біологічної та хімічної зброї масового знищення; для діагностики деяких захворювань, наприклад, цукрового діабету, для астрономічних та астрофізичних досліджень тощо [1].

Нині до сучасних перспективних багато-діапазонних оптико-електронних систем висувають такі вимоги:

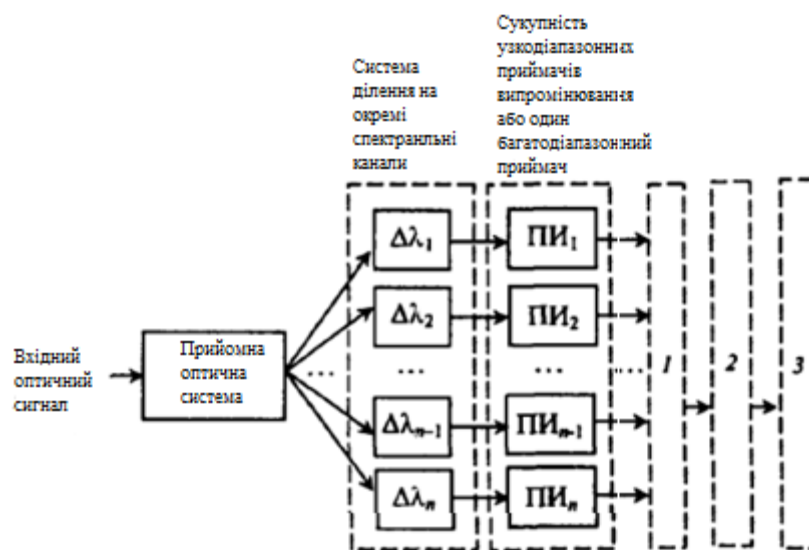
- ефективну можливість виконувати функції у достатньо широкому інтервалі спектра оптичного діапазону, який би зміг включати ультрафіолетову, видиму та інфрачервону властивості;
- мати можливість у цьому інтервалі два чи більше вузьких робочих спектральних інтервалів. Але разом із цим число подібних інтервалів намагаються довести до мінімуму, задля спрощення конструкції системи та зменшення її собівартості;

- мати високу просторову, енергетичну і часову роздільну здатність в усіх робочих спектральних діапазонах, зокрема і високу якість зображення в усіх цих діапазонах;
- мати сумісність безперебійної роботи окремих каналів БОЕС та паралельно мати відсутність шкідливих зв'язків поміж ними;
- мати емігрований вивід зображення, яке буде отримане від різноманітних спектральних каналів, на єдину систему відображення остаточних зображень (тобто, для зручності обробки спеціалістом).

Серед недоліків практично усіх багато-спектральних оптико-електронних систем у значній кількості спектральних каналів відзначають:

- велику складність, а іноді й неможливість працювати в реальному масштабі часу, через необхідність реєструвати та обробляти надто великі масиви вихідних даних;
- помітну складність одночасно отримувати якісно високу спектральну та просторову роздільну здатність і в той же час – забезпечувати якісну й високу чутливість;
- чималу кількість обчислень, що призводить до зайвої потреби часу проводити обробку зареєстрованих даних;
- складність самої конструкції для розміщення інформації, яка реєструється;
- складність узагальнення отриманих зображень від різноманітних каналів;
- складність знаходження необхідного алгоритму обробки цих зображень, які були отримані в різних діапазонах, у одне підсумкове відображення;
- занадто велика вартість виготовлення такої системи.

Загальний опис структурованої схеми багатоканальної оптикоелектронної системи показана на рис 1.1.



1 – послідовний блок паралельної або послідовної обробки сигналів; 2 – система об'єднання зображень (комплексування); 3 – зона відображення інформації (дисплей, тощо)

Рисунок 1.1 – Структурна схема багатоканальної оптико-електронної системи

Роль приймальної частини оптичної системи в багатоканальній оптико-електронній системі практично не відрізняється у призначенні такої ж самої системи у звичайній ОЕС. Задача, в першу чергу, полягає в реєстрації необхідного для роботи системи потоку випромінювання та отримання відображення простору об'єктів. Система поділу роботи всього спектрального діапазону БОЕС на  $n$  окремих каналів  $(\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \dots, \Delta\lambda_{n-1}, \Delta\lambda_n)$ , може знаходитися в складі оптичної системи, що приймається, і представляє собою, для прикладу, сукупність спектральних фільтрів, після якої випромінювання в окремих каналах проходить через додаткові компоненти, такі, для прикладу, як – конденсори.

В електроблоці системи проходить послідовна чи паралельна обробка сигналів, які отримуються в окремих спектральних каналах системи. Ця обробка, зазвичай, ґрунтується в накопиченні зарядів, які знімаються із окремих елементів, а також проходить їхня комплексація та підсилення у цифрову форму, потім – фільтрація і, врешті, приведення до єдиного масштабу всіх зображень та інших операцій, які деталізовано описані в різних джерелах технічної літератури [2,3,4].

Ознаки класифікації БКОЕС можуть бути різні. До таких, наприклад, можна віднести:

- діапазони спектру, у якому знаходяться вузькі робочі спектральні інтервали;
- нумерація робочих спектральних діапазонів;
- певні принципи дії системи;
- роль і призначення БКОЕС.

## 1.2 Методи комплексування зображень

Основним завданням комплексування зображень – є перенесення інформаційних складових різноспектральних відображень. При цьому часто потрібно забезпечувати високу швидкість обробки у режимі реального часу [5]. Після розгляду цих вимог цих, для дослідження були запропоновані такі методи комплексування зображень [7,4].

### 1.2.1 Метод максимуму.

Метод максимуму передбачає заміщення значення зображення  $F1(x, y)$  значеннями зображення  $F2(x, y)$  у тому випадку, якщо значення другого зображення більше. А вже безпосередньо на виході формується нове зображення, у якому будуть присутні інформаційні ознаки зображення  $F1(x, y)$  та чітко вираженні ознаки  $F2(x, y)$ . Метод максимуму реалізується відношенням (1.1)

$$Z(x, y) = \max\{F1(x, y)F2(x, y)\} \quad (1.1)$$

де  $Z(x, y)$  – комплексоване зображення,

$F1(x, y)$  – перше отримане зображення;

$F2(x, y)$  – друге отримане зображення.

Метод максимуму являється одним із найпростіших методів комплексування. Він реалізується на основі логічного порівняння та є неадаптивним. Результат залежить від рівня чіткості та контрастності зареєстрованого зображення. Приклад комплексування відповідним методом представлений на рис. 1.2.

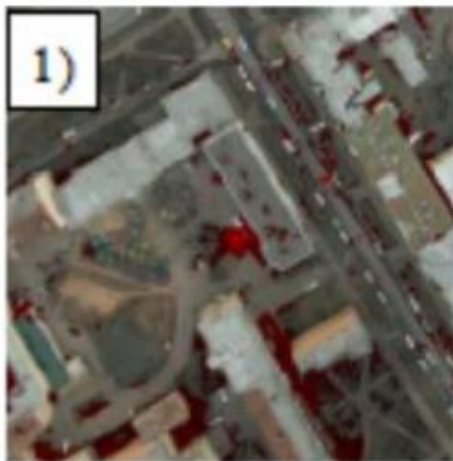


Рисунок 1.2 – Метод максимуму

### 1.2.2 Метод маски.

Комплексування методом маски, також, як і метод максимуму, виконується на базі простої логічної операції порівняння. Але, поміж цього, передбачається, що одне із вхідних зображень являється маскою для іншого. Припустимо, що в процесі комплексування зображення  $F_2(x,y)$  буде накладено на зображення  $F_1(x,y)$ . В такому разі над зображенням  $F_2(x,y)$  буде виконуватися операція так званої порогової фільтрації. В результаті цієї операції отримується маска накладення для іншого.

Після накладення, комплексоване зображення буде уявляти собою об'єднану множину  $F_2(x,y)$  та  $F_2(x,y)$ . При цьому значення у кожній точці простору буде визначатися або відповідним значенням із зображення  $F_1(x,y)$ , або, у випадку, якщо значення відповідної точки маски дорівнює нулю, то врешті матиме зображення, яке фіксуватиме значення пікселя зображення  $F_2(x,y)$ .  
Комплексування методом маски виконується за допомогою наступного виразу:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), F_2(x, y) < T \\ F_2(x, y), F_2(x, y) > T \end{cases} \quad (1.2)$$

де  $T$  – рівень порогового фільтра.

При використанні комплексування методом маски основна складність виявляється у виборі рівня порогового фільтра. Помилковий вибір рівня може призвести до втрати інформації у підсумковому зображенні. Для знаходження вірного рівня порогу пропонується використовувати дисперсію [6].

Приклад комплексування даним методом представлено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Метод маски

### 1.2.3 Метод усереднення.

Метод усереднення базується на знаходженні середнього арифметичного від вихідних зображень  $F_1(x, y)$  та  $F_2(x, y)$ . Цей метод вигідно потребує мінімальних обчислювальних затрат, але він не використовує ті інформаційні переваги, які дає існування кількох зображень, які відрізняються одне від одного.

Комплексування методом усереднення виконується за допомогою наступного виразу (1.3)

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

В результаті цього буде отримане зображення зі згладженими деталями об'єктів, а контраст комплексованого зображення буде суттєво зменшеним порівняно з вихідними зображеннями. Але при цьому значно зменшується шумова складова.

Приклад комплексування даним методом на рис. 1.4.

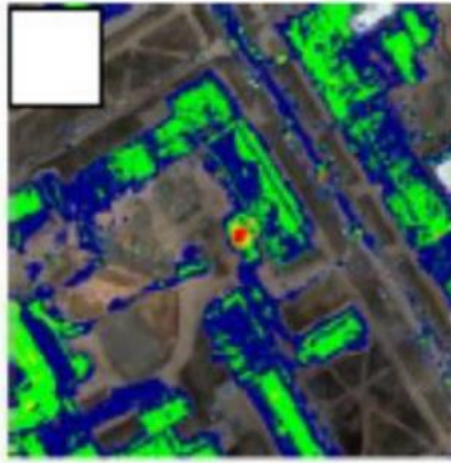


Рисунок 1.4 – Метод усереднення

#### 1.2.4 Метод ступеневого перетворення.

Метод ступеневого перетворення являє собою зведення вихідного зображення  $F_1(x, y)$  в показник ступеня, рівний нормованому значенню зображення  $F_2(x, y)$ . Метод, що розглядається, являє собою модифікацію метода, який запропонували Ж. Лю та Р. Лаганьєр. В якості показника ступені використовується відношення двох вихідних зображень із попередньою просторовою фільтрацією [7]. Реалізація цього методу із застосуванням негативного зображення в показнику ступеня дозволяє виконувати комплексування у режимі реального часу. Комплексування по методу ступеневого перетворення здійснюється за допомогою формули (1.4).

$$Z(x, y) = F_1(x, y) \cdot 1 - F_2(x, y) / 2^n \quad (1.4)$$

де  $n$  – розрядність вихідного зображення  $F_2(x, y)$ .

Цією формулою доведено, що в показнику ступеня є значення у діапазоні  $[0,1]$ . В результаті на комплексованому зображенні мінімальним значенням чіткості зображення  $F_2(x, y)$  залишаться незмінними, а для максимального зображення суттєво зміняться. Тож вузький діапазон зображення  $F_1(x, y)$  перетвориться у широкий діапазон значень, що набуде покращення контрасту на загальному зображенні  $Z(x, y)$ . Приклад комплексування цим методом представлено на рис. 1.5.

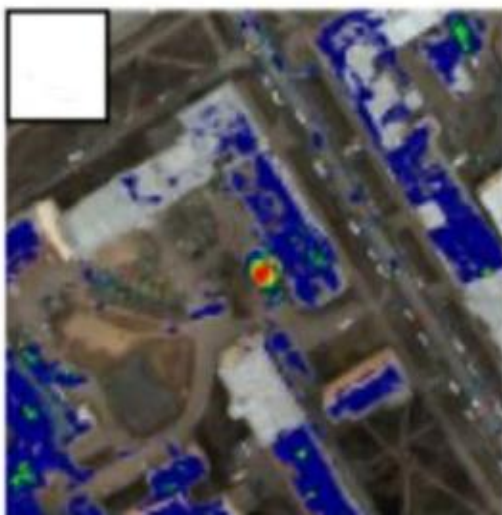


Рисунок 1.5 – Метод ступеневого перетворення

### 1.2.5 Метод черезрядкового комплексування

Метод черезрядкового комплексування реалізується алгоритмом на базі порядкового чергування одного зображення відносно до іншого. При цьому результат комплексування для пари зображень розміром  $M \times N$  у загальному будувати вигляд  $M \times 2N$  (1.5).

$$Z(x, q) = \begin{cases} Z(x, 2y) = F_1(x, y) \\ Z(x, 2y + 1) = F_2(x, y) \end{cases} \quad (1.5)$$

де  $q = 1 \dots 2N$  – просторове розширення комплексованого зображення по вертикалі.

Цей метод може бути реалізований зі збереженням просторової здатності вихідних зображень шляхом злиття комплексованого зображення чергуванням парних і непарних рядків відповідно до зображень  $F_1(x, y)$  та  $F_2(x, y)$ . В такому разі вираз (1.5) матиме такий вигляд (1.6).

$$Z(x, q) = \begin{cases} F_1(x, y), y \in 1, 3, 5 \dots N \\ F_2(x, y), y \in 2, 4, 6 \dots N - 1 \end{cases} \quad (1.6)$$

Одним із суттєвих недоліків методу черезрядкового комплексування є виражена періодична структура на безпосередньому зображенні, яка обумовлена принципом роботи цього методу. В просторовому значенні цей дефект проявляється у періодичній складовій по вертикальній осі зображення з відповідним періодом чергування (1 піксель), а в частотній – у вигляді яскраво вираженій складовій на найвищих частотах спектру, яка може бути вирішена вузькополосовим високочастотним фільтром. Приклад комплексування даним методом представлено на рис. 1.6.

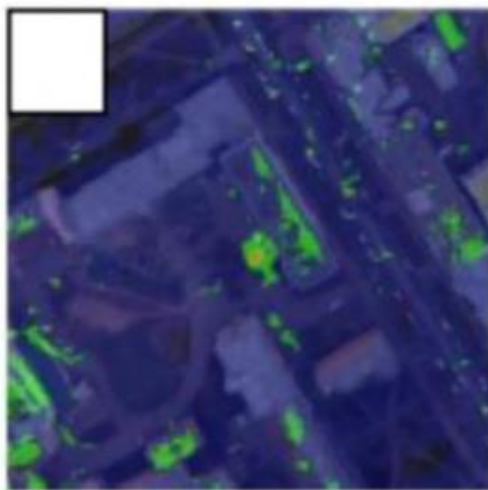


Рисунок 1.6 – Метод черезрядкового комплексування

### 1.2.6 Метод вагової функції

Представлений метод вагової функції реалізується як лінійна комбінація значень вхідних зображень  $F_1(x, y)$  та  $F_2(x, y)$  з коефіцієнтом  $\alpha$ . Коефіцієнт  $\alpha$  характеризує величину значимості кожного із каналів і може приймати значення у діапазоні  $[0,1]$ . Комплексування цим методом здійснюється згідно такого рівняння

$$Z(x, y) = \alpha F_1(x, y) + (1 - \alpha)F_2(x, y). \quad (1.7)$$

Коефіцієнт  $\alpha$  може бути наданий на підставі апріорної оцінки ефективності кожного каналу. Але варто знати, що в такому випадку метод буде неадаптивним до умов, що змінюються [11]. Через це буде потрібно розраховувати коефіцієнт  $\alpha$  на базі середнього значення вхідних зображень (1.8). Такий алгоритм знаходження вагового коефіцієнта приводить до того, що більш вагомим стане те зображення, середній рівень вираженості якого буде вище:

$$\alpha = \frac{\sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_2(x, y)}{\frac{1}{M \cdot N} [\sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_1(x, y) + \sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_2(x, y)]}. \quad (1.8)$$

Приклад комплексування даним методом представлено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Метод вагової функції

### 1.2.7 Виділення країв за допомогою методу CANNY

Межі характеризують рубіж зображення і тому виявляють основну проблему під час обробки зображень. Межі на зображенні є областю із сильним контрастом інтенсивності – різким стрибком інтенсивності при переході до сусіднього пікселя. Виявлення меж у зображенні значно скорочує обсяг даних і відфільтровує непотрібну інформацію, зберігаючи важливі структурні властивості зображення [15].

Алгоритм Canny відомий багатьом як оптимальний детектор межі. Алгоритм Canny удосконалив багато існуючих методів. Він успішний у досягненні своїх цілей. Його ідеї та методи можна знайти в статті "Обчислювальний підхід до виявлення кордонів". У своїй роботі він наслідує певним критеріям для удосконалення методів. Першим і найбільш очевидним критерієм є низький рівень помилок. Дуже важливо, щоб присутні на зображенні межі не були пропущені та не мали б помилкових результатів. Іншим критерієм є досить гарна локалізація крайніх точок. Тобто, відстань між виявленими крайніми точками та фактичними межами кордону має бути мінімальною. Третій критерій – одне виявлення на один край. Він був уведений через те, що перші два не могли в повній мірі виключити можливість багаторазового виявлення одних і тих же меж [15].

Базується на тих же самих умовах, що й алгоритм виділення меж. Canny спочатку згладжує відображення, аби усунути шум, а вже далі він знаходить

градієнт зображення для того, аби висвітити області з високими просторовими похідними. Надалі алгоритм проходить по зазначених областях та пригнічує всі пікселі, які не в максимумі (немаксимальне придушення), а далі зменшується гістерезисом. Гістерезис використовується для відстеження чи залишення пікселів, що не були придушені. Гістерезис використовує два пороги, і коли величина буде нижче першого порога, то вона встановлюється в нуль (робиться немежовою). Якщо ж величина вище високого порогу, то вона буде межовою. І якщо величина поміж цими двома порогами, то вона встановлюється в нуль, в тому випадку, якщо немає іншого шляху від цього пікселя до пікселя з градієнтом вище  $T_2$ . Нижче наведено кроки алгоритму [15].

Відповідно першим кроком буде фільтрація шуму в оригінальному документі. Але оскільки фільтр Гаусса можна обчислити за допомогою простої маски, то він використовується виключно в алгоритмі Canny. Після того, як відповідна маска буде розрахована, згладжування Гаусса може бути виконано за допомогою 22 стандартних методів згортки. Маски згортки, як правило, набагато менші, ніж саме зображення. У результаті, маска рухається над зображенням, маніпулюючи квадратом пікселів за один раз. І чим буде більше ширина маски Гауса, тим буде менша чутливість детектора до шуму. Локалізація помилки у виявленні меж так само трохи збільшується зі збільшенням ширини Гауссіани (рис. 1.8) [15].

	2	4	5	4	2
	4	9	12	9	4
$\frac{1}{115}$	5	12	15	12	5
$\sigma=1.4$	4	9	12	9	4
	2	4	5	4	2

Рисунок 1.8 – Маска Гауссіани

Знаходження межі сили шляхом обрання градієнта зображення. Оператор Собеля виконує 2-D просторовий вимір градієнта в зображенні. В такому разі наближені градієнти абсолютних величин (границь сил) у кожній точці може бути знайдено. Оператор Собеля (рис. 1.9) застосовує пару 3x3 масок згортки: оцінки градієнта у напрямку X (стовпці) та оцінки градієнта в Y напрямку (рядків) [15].

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

$G_x$

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

$G_y$

Рисунок 1.9 – Оператор Собеля

Величина, або край сили, градієнта потім апроксимується за формулою:

$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (1.9)$$

Знайдення напрямку межі тривіальне, оскільки градієнт в напрямках X та Y вже відомий. Однак, якщо сума X буде рівна нулю, то буде згенерована помилка. Тому при реалізації алгоритму, має бути обмеження набору, якщо таке буде відбуватися. Усякий раз, якщо градієнт у напрямку x буде дорівнювати нулю, напрямок межі повинен дорівнювати 90 градусам або 0 градусів, у залежності від того, чому дорівнює значення градієнта в напрямку осі Y. Якщо  $G_y$  матиме нульове значення, то напрям межі буде дорівнювати 0 градусів. В іншому випадку напрямок межі дорівнюватиме 90 градусів. Формула для знаходження напрямку межі [15]:

$$\theta = \arctan(G_y/G_x) \quad (1.10)$$

Зв'язування межі з напрямом, який може бути відслідковано в зображенні. Таким чином, якщо пікселі зображення 5x5 розташовані як зазначено нижче [15]:

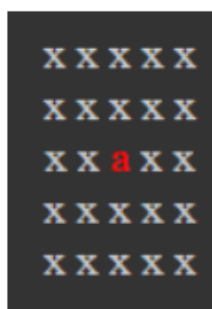


Рисунок 1.10 – Розташування пікселей зображення

Видно, що для пікселя "a" існують лише 4 можливі напрямки опису навколишніх пікселів - 0 градусів (в горизонтальному напрямку), 45 градусів (уздовж позитивної діагоналі), 90 градусів (у вертикальному напрямку), або 135 градусів (по негативній діагоналі). Тепер орієнтація краю повинна бути обрана в одному із цих чотирьох напрямків, в залежності від того, який напрямок знаходиться ближче (наприклад, якщо кут орієнтації виявляється +3 градуси, зробити його 0 градусів). Для цього представляють півколо, розділений на 5 регіонів (рис. 1.11) [15].

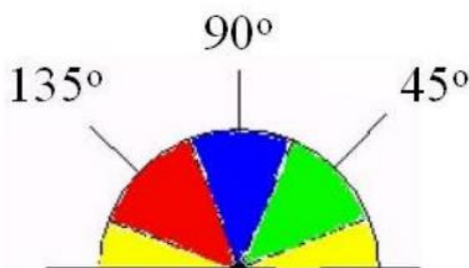


Рисунок 1.11 – Півколо, умовно розділене на 5 регіонів

Ось тому, будь-який напрямок межі, який входить у жовтий діапазон (від 0 до 22,5 & 157,5 до 180 градусів), встановлюється в 0 градусів. Будь-який напрямок межі, який потрапляє в зелений діапазон (22,5 до 67,5 градуса), встановлюється на 45 градусів. Будь-який напрямок межі в синьому діапазоні (67,5 до 112,5 градусів), встановлюється в 90 градусів. І, врешті, будь-який напрямок межі в червоному діапазоні (112,5 до 157,5 градусів), встановлюється в 135 градусів [15].

Якщо стали відомими напрямки меж, застосовуємо немаксимальне придушення, тобто використовуємо для відстеження уздовж межі в напрямку межі та придушенні будь-яких значень пікселя (встановлюючи їх рівним 0), які не зважають на межу. Це дає тонку лінію в підсумкованому зображенні [15].

Використання гістерезису, як засобу усунення смуг. Смуга – це розбиття контуру межі, викликане оператором вихідного коливання вище і нижче порогового рівня. Якщо поріг єдиний,  $T_1$  застосовується до зображення і межа має середню силу, рівну  $T_1$ , то через шум, будуть траплятися випадки, коли межа опускається нижче порогового рівня. В рівній мірі він буде також поширюватися вище порога прийняття межі, схожого на пунктирну лінію. Щоб уникнути цього, гістерезис використовує два пороги: високий і низький. Будь-який піксель у зображенні, що має значення більше, ніж  $T_1$ , імовірно є межовим пікселем та негайно позначається як такий. Тоді будь-які пікселі, які поєднуються із оцим межовим пікселем і які мають значення, більше, ніж  $T_2$ , також вибираються як межові пікселі. Для початку руху вздовж краю необхідний градієнт  $T_2$ , а для закінчення - градієнт нижче  $T_1$  [15].

### 1.3 Синхронізація зображень з різними просторовими спотвореннями отриманих з різних каналів багатоканальної оптикоелектронної системи.

Перед комплексуванням зображень необхідно здійснити просторову синхронізацію зображень – їх поточкову взаємну прив'язку. Для прикладу взято

випадки зображень, аби вони були отримані при огліді земної поверхні з деякого підвищення чи з літального апарату [14].

Вбачається, що два зображення відповідають одній і тій же ділянці місцевості та все ж відрізняються один від одного масштабом чи прив'язкою до місцевості. Одне з таких зображень для зручності вважатимемо еталонним. А при відсутності просторової синхронізації друге можна вважати як зображення із певним спотворенням.

У випадках, що мають практичну цікавість, відмінності спотвореного зображення від еталонного можуть описані як:

- просторовий зсув (рис. 1.12);
- зміна масштабу (рис. 1.13);
- зміна геометрії (рис. 1.14).

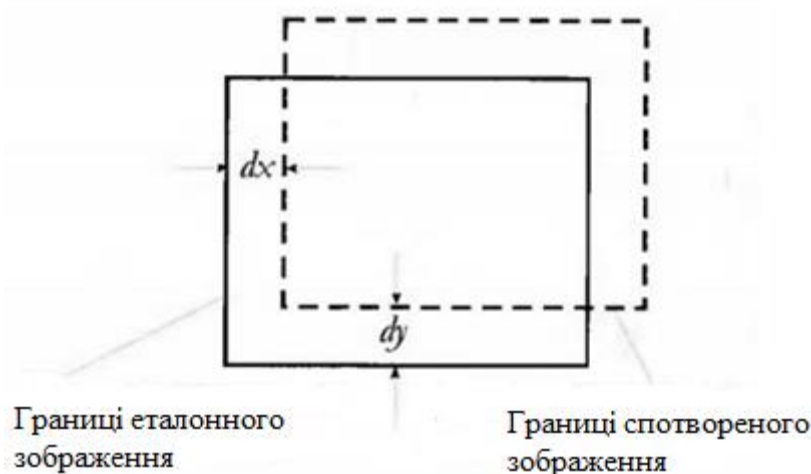


Рисунок 1.12 – Просторовий сдвиг

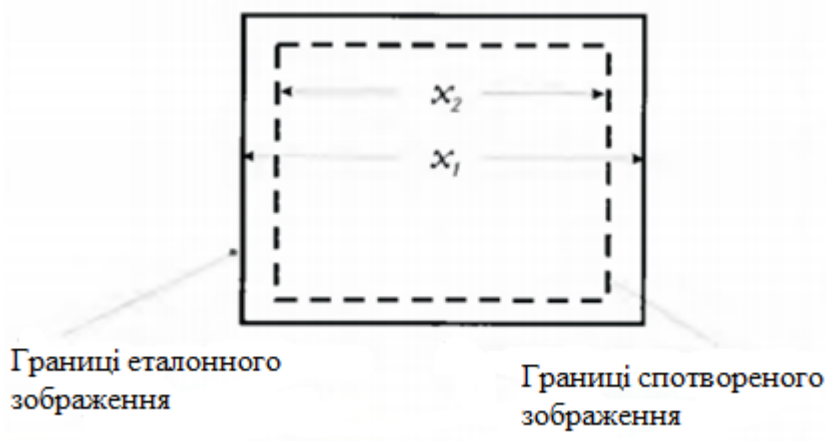


Рисунок 1.13 – Зміна масштабу

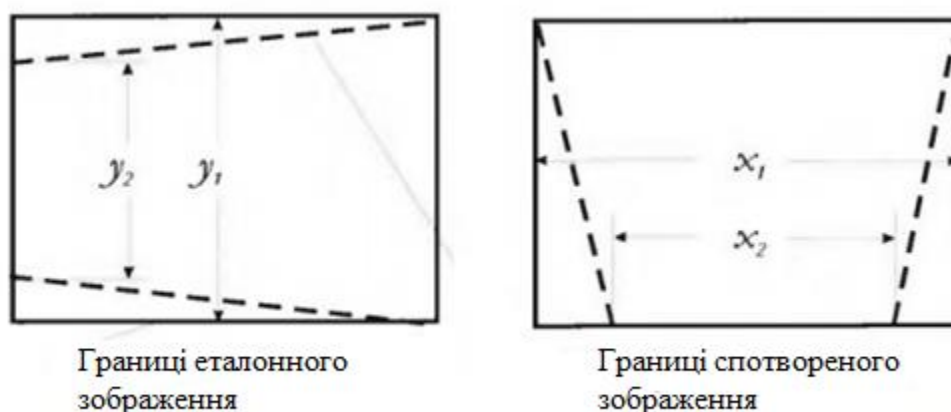


Рисунок 1.14 – Зміна геометрії

Спотворення типу "просторовий зсув" зручно охарактеризувати значеннями зсувів вздовж відповідних осей  $dx, dy$ . Спотворення типу "зміна масштабу" – в вигляді  $dm = x_1/x_2$ , а спотворення типу "зміна геометрії" – за допомогою величин  $dmx = \frac{x_1}{x_2}, dmy = \frac{y_1}{y_w}$ . Для випадку, коли комплект, якого аналізуємо, має більше двох зображень, усі вказані величини можна задавати відносно одного "еталонного" зображення.

Можна передбачити, що зображення, які повинні синхронізуватися, будуть характеризуватися наявністю просторових здвигів і малими значеннями змін масштабу геометрії, що відповідає значенням:

$|dx| > 0$ ,  $|dy| > 0$ ,  $dm_x \approx 1$ ,  $dm_y \approx 1$ . Таким чином, при синхронізації нада оцінювати значення величин  $dx$ ,  $dy$  в припущенні, що відмінності  $dm_x$ ,  $dm_y$ ,  $dm$  від 1 не сильно повпливають на результат.

Коли відомі наявні значення просторових здвигів  $dx$ ,  $dy$ , зміщення можна оцінити:

– в абсолютних значеннях (в пікселях) (1.9)

– у відносних величинах (у процентах) (1.10)

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (1.9)$$

де  $\Delta x = dx_r - dx$ ,  $\Delta y = dy_r - dy$ .

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{dx_r - dx}{dx_r} \cdot 100\% \\ \Delta Y = \frac{dy_r - dy}{dy_r} \cdot 100\% \\ \Delta R = \sqrt{\frac{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2}{(\Delta x_r)^2 + (\Delta y_r)^2}} \end{cases} \quad (1.10)$$

Коли справжні значення здвигів невідомі, залишається лише візуальна оцінка.

Для подальшої оптимізації пропоную замінити коефіцієнт усереднення  $1/2$  на  $\alpha$  для потоку з тепловізійної камери, та  $1-\alpha$  для телевізійної. Отримаємо наступну формулу:

$$I_{\text{комп}} = \alpha I_{\text{ТВП}} + (1 - \alpha) I_{\text{ТВ}} \quad (1.9)$$

де  $\alpha = 0.1, 0.2 \dots 0.9$

#### 1.4 Алгоритми оцінки якості зображення

Можливі два підходи до оцінки якості зображень: кількісна оцінка за допомогою використання математичних методів (середньоквадратична помилка,  $L_p$ -норма, заходи, що враховують особливості сприйняття зображення зорової системою людини) і суб'єктивна оцінка на основі експертних оцінок.

Суб'єктивна оцінка якості зображення залежить від різних зовнішніх факторів, наприклад, умов навколишнього середовища, освітлення, настрою фахівця, який проводить оцінку, якості монітора, характеру розглянутих зображення та інших.

Кількісні заходи якості зображення також, як і суб'єктивні, можна розділити на дві групи: абсолютні і порівняльні. Абсолютна міра є число, зіставляти будь-якого зображення на основі аналізу цього зображення. Порівняльна міра є числовим результатом порівняння двох або більше зображень. Для порівняння також можна використовувати абсолютні заходи, обчислені для кожного зображення окремо [35].

В даній дисертації для оцінки якості зображення використовуємо суб'єктивний метод оцінки, адже ефективність злиття зображень в кінцевому результаті має оцінюватися оператором.

#### 1.5 Висновки

Розглянуто структуру та принцип роботи багатоканальної оптико-електронної системи. Був проведений огляд найпопулярніших методів комплексування зображень, їх переваги та недоліки. Для подальшої роботи був обраний метод усереднення. Цей метод потребує мінімальних обчислювальних затрат, вихідне зображення має згладжені деталі об'єктів, що веде за собою

зменшення шумової складової.

Був розглянутий метод виділення та обробки країв на зображенні, на прикладі методу Canny. Він дозволяє суттєво поліпшити існуючі методи злиття зображень в області із сильним контрастом інтенсивності при переході до сусіднього пікселя.

Розглянули випадки з не синхронізованими зображеннями, що викликають проблеми при їх злитті на прикладі зображень при огляді земної поверхні з літаючого апарату.

Розглянули основні алгоритми оцінки якості отриманих зображень. В подальшому будемо використовувати кількісну оцінку за допомогою програмного забезпечення

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСУВАННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

### 2.1 Фізико-математична модель тепловізійної ОЕП

Всі тіла певної температури являються джерелом власного теплового випромінювання. Для дослідження об'єкта, що випромінює у інфрачервоному спектрі випромінювання потрібні такі закони як закон Планка, закон Віна та закон Стефана-Больцмана, що характеризують теплове випромінювання АЧТ (Абсолютно чорне тіло).

Абсолютно чорне тіло – це фізична абстракція, що вживається в термодинаміці: тіло, що повністю поглинає випромінювання, що падає на нього.

Закон Планка У 1900 р. Планк запропонував новий метод розрахунку функції розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла, яка ґрунтується на квантових уявленнях. В основу методу було покладено гіпотезу про те, що тіла випромінюють енергію не неперервно, а окремими порціями, які дістали назву квантів. Енергія в кванта пропорційна частоті випромінювання(2.1) (обернено пропорційна довжині хвилі):

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

де  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  – стала Планка.

Керуючись уявленнями про квантовий характер теплового випромінювання, М. Планк дістав такий вираз для світності абсолютно чорного тіла  $r(\lambda, T)$  (2.2):

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \quad (2.2)$$

де  $c$  — швидкість світла у вакуумі;

$k$  — стала Больцмана;

$T$  — абсолютна температура

Згідно з формулою Планка (2.2) для кожної довжини хвилі  $\lambda$  з підвищенням температури зменшується величина  $e^{hc/k\lambda T}$ , що стоїть у знаменнику,  $r(\lambda, T)$  зростає. Отже, з підвищенням температури збільшується випромінювальна здатність на всіх ділянках спектра, причому це зростання різне для різних інтервалів довжин хвиль. Саме така залежність  $r(\lambda, T)$  від температури спостерігається. (Рис 2.1)

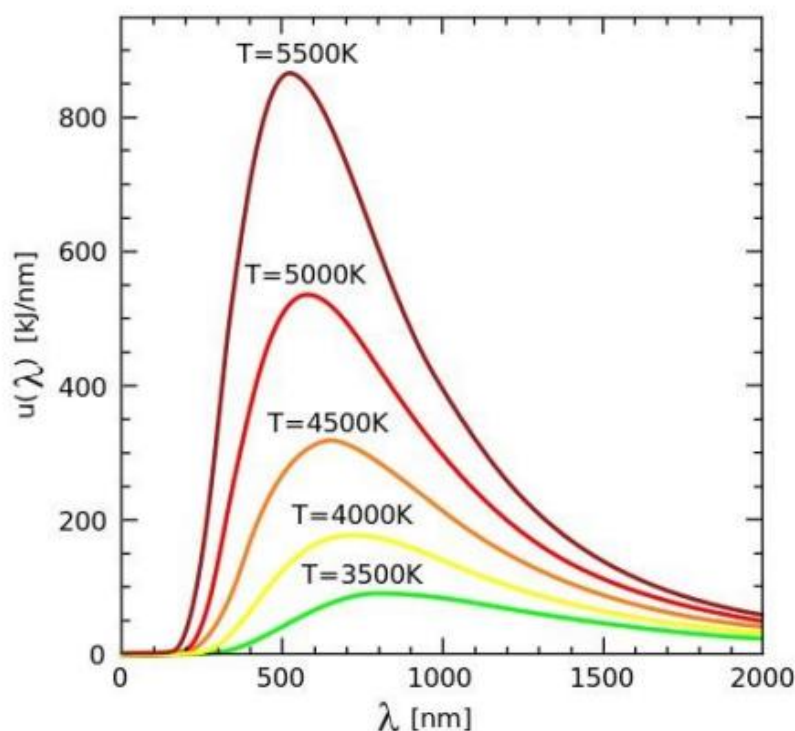


Рисунок 2.1 – Спектральні криві. Планка різних температур

Закони Віна та Релея-Джинса ґрунтуючись на уявленні про безперервний характер випромінювання електромагнітних хвиль в законі рівномірного розподілу енергій за ступенями свободи, були отримані дві формули для випромінювальної здатності АЧТ :

- формула Віна

$$r(\lambda, T) = a\lambda^{-5} e^{\frac{b}{\lambda T}} . \quad (2.3)$$

- формула Релея-Джинса

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi\nu^2 kT}{c^2} . \quad (2.4)$$

Дослідна перевірка показала, що для даної температури формула Віна (2.3) вірна для коротких хвиль і дає різкі розбіжності в області довгих хвиль. Формула Релея-Джинса (2.4) виявилася вірна для довгих хвиль і не може бути застосована для коротких (Рис. 2.2) [31, 32].

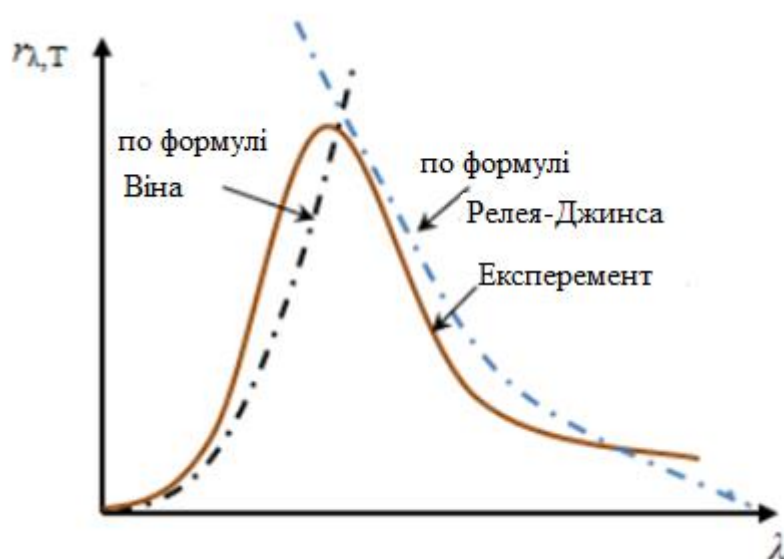


Рисунок 2.2 – Відхилення формули Віна та Реля-Джинса

Закон Стефана - Больцмана Закон Стефана - Больцмана - інтегральний закон випромінювання абсолютно чорного тіла. Визначає загальну(інтегральну) залежність щільності потужності випромінювання абсолютно чорного тіла від його температури [33].

Закон Стефана-Больцмана (2.5) говорить: потужність випромінювання абсолютно чорного тіла (інтегральна потужність по всьому спектру), яка припадає на одиницю площі поверхні, прямо пропорційна четвертого ступеня температури тіла:

$$M_{\text{сум.}} = \sigma T^4 \quad (2.5)$$

де  $\sigma$  – стала Стефана-Больцмана

Для знаходження формули Стефана-Больцмана була взята формула планка(2.6) і проінтегрована по довжині хвилі в межах від 0 до  $\infty$ .

$$m(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (2.6)$$

$$M_{\text{сум.}} = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} d\lambda = \sigma T^4 \quad (2.7)$$

Виразуємо сигнал, який буде на виході телевізійної системи (Рис.2.3).

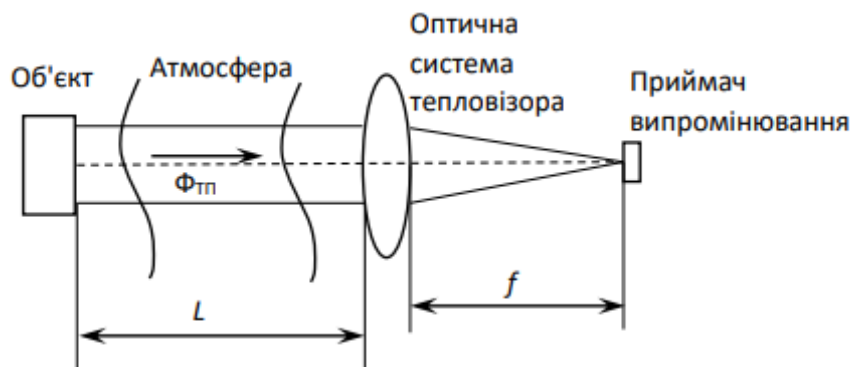


Рисунок 2.3 – Схема тепловізійної ОЕП

Прийемо об'єкт за ламбертівський випромінювач. Також, будемо вважати, що він являє собою АЧТ. Для АЧТ потік дорівнює:

$$\Phi_{\text{ТПВ}} = M \cdot A \quad (2.8)$$

де  $M$  – світність об'єкта,

$A$  – його площа.

Для розрахунку світності використаємо інтеграл від формули Планка (2.6), якщо ми працюємо в одній довжині хвилі, то можна використати формулу Стефана-Больцмана (2.7). Враховуючи коефіцієнти пропускання атмосфери та оптичної системи, формула (2.8) набуде наступного вигляду:

$$\Phi_{\text{ТПВ}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} d\lambda \cdot \tau_{\text{атм}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot A \quad (2.9)$$

Отже, сигнал на виході тепловізійної ОЕС буде дорівнювати:

$$U_{\text{ТПВ}} = \Phi_{\text{ТПВ}} \cdot S = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} d\lambda \cdot \tau_{\text{атм}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot A \cdot S \quad (2.10)$$

де  $S$  – чутливість приймача.

## 2.2 Фізико-математична модель телевізійної оптичної системи

Аналогічно, розрахуємо який сигнал буде на виході з телевізійної ОЕП (рис.2.4).

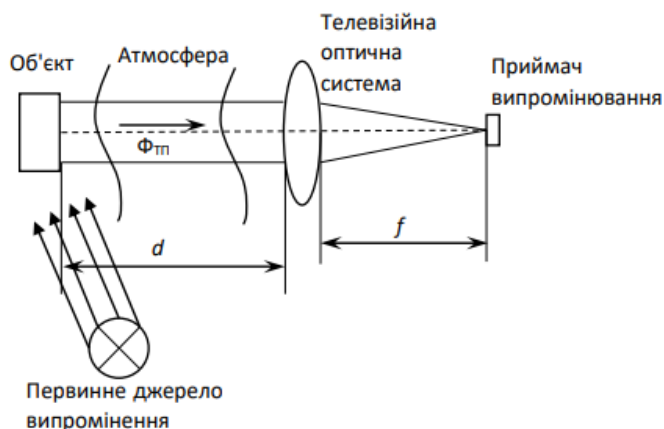


Рисунок 2.4 – Схема телевізійної ОЕП

Оскільки об'єкт займає частину кутового поля зору системи, то для розрахунку потоку, який потрапляє на приймач, можна скористатися наступною формулою:

$$\Phi_{ТВ} = \tau \cdot \iint_{\sigma\varphi} L_e \cdot \sin(\sigma) \cdot \cos(\sigma) \cdot A d\sigma d\varphi \quad (2.11)$$

де  $L_e$  – яскравість об'єкта.

Оскільки ми вважаємо, що наш об'єкт є ламбертовим випромінювачем та враховуючи коефіцієнти пропускання, (2.11) набудет наступного вигляду:

$$\Phi_{ТВ} = \tau_{атм} \cdot \tau_{ос} \cdot \pi \cdot L_e \cdot (\sin(\sigma))^2 \quad (2.12)$$

Якщо вважати, що  $d \ll D$ , то

$$\Phi_{ТВ} = \tau_{атм} \cdot \tau_{ос} \cdot Le \cdot \frac{A \cdot A_2}{d_2} \quad (2.13)$$

де  $A_2$  – площа вхідної зіниці.

Також, оскільки об'єкт не випромінює в видимому діапазоні, а є вторинним джерелом випромінення, то яскравість його буде дорівнювати:

$$Le = \frac{\rho \cdot M}{\pi} \quad (2.11)$$

де  $M$  – світність ламбертовського випромінювача,

$\rho$  – коефіцієнт відбиття об'єкта.

Підставимо (2.13) в (2.15):

$$\Phi_{ТВ} = \tau_{атм} \cdot \tau_{ос} \cdot \frac{\rho \cdot M}{\pi} \cdot \frac{A \cdot A_2}{d_2} \quad (2.15)$$

Отже, вихідний сигнал з телевізійної система буде дорівнювати:

$$U_{ТВ} = \Phi_{ТВ} \cdot S = \tau_{атм} \cdot \tau_{ос} \cdot \frac{\rho \cdot M}{\pi} \cdot \frac{A \cdot A_2}{d_2} \cdot S \quad (2.16)$$

де  $S$  – чутливість приймача.

### 2.3 Фоноцільовий стан

Фоноцільовий стан залежить від погодних умов, тому однією з важливіших показників є коефіцієнт пропускання атмосфери [33].

Розрахуємо коефіцієнт пропускання атмосфери:

$$\tau_{\text{атм}} = \tau_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \tau_{\lambda\text{H}_2\text{O}} \cdot \tau_{\lambda\text{CO}_2} \cdot \tau_{\text{роз}} \quad (2.17)$$

$\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  – середній коефіцієнт пропускання в межах заданого вікна прозорості, який обумовлений поглинанням води;

$\tau_{\lambda\text{H}_2\text{O}}$  – спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери, обумовлений поглинанням паром води;

$\tau_{\lambda\text{CO}_2}$  – спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери, обумовлений поглинанням  $\text{CO}_2$  троз – коефіцієнт, який залежить від каламутного (аерозольного) стану атмосфери.

Відомо два методи розрахунку середнього  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$ :

- метод Елдера-Стронга;
- метод Лангера, який є вдосконаленням першого метода.

Розрахуємо  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  за допомогою методу Елдера-Стронга:

$$\tau_{\text{H}_2\text{O}} = t_0 - k_1 \cdot l g w \quad (2.18)$$

де  $t_0$  та  $k_1$  – постійні коефіцієнти для розглядаемого вікна прозорості, беруться з рис.2.6;

$w = w_0 \cdot l$  – товщина слою осадженої води;  $w_0$  – кількість осадженою води на трасі 1 км.,  $l$  – довжина траси в км.

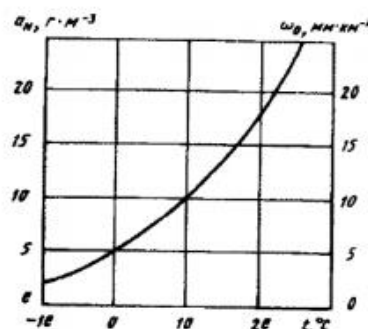


Рисунок 2.5 – Графік для знаходження  $\omega_0$ , яка дорівнює абсолютній вологості аН помножене на відносну вологість [10]

$\Delta\lambda$ , мкм	$k_t$	$t_0$
0,70...0,92	15,1	106,3
0,92...1,10	16,5	106,3
1,10...1,40	17,1	96,3
1,40...1,90	13,1	81,0
1,90...2,70	13,1	72,5
2,70...4,30	12,5	72,3
4,30...5,90	21,2	51,2

Рисунок 2.6 – Коефіцієнти  $t_0$  та  $k_1$ [10]

Знаючи дальність дії системи, довжину хвилі, температуру та відносну вологість, можемо знайти  $t_0$ ,  $k_1$ ,  $w$ : Спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери, обумовлений поглинанням парю води знайдемо скориставшись таб.4.3 [1]. Спектральний коефіцієнт пропускання атмосфери, обумовлений поглинанням  $CO_2$  знайдемо скориставшись таб.4.4. Зазвичай він дорівнює одиниці.

Також, на пропускання атмосфери дуже впливають опади. Коефіцієнт пропускання атмосфери, обумовлений опадами можна розрахувати скориставшись таблицею з Рис.2.7 та формулою (2.19).

Международный код видимости, метеорологическая дальность видимости  $s_M$  и показатель рассеяния  $\alpha_{a,0,55}$

Кодовый номер	Погодные условия	$s_M$ , м	$\alpha_{a,0,55}$ , км <sup>-1</sup>
0	Плотный туман	< 50	> 78,2
1	Густой туман	50...200	78,2...19,6
2	Обычный туман	200...500	19,6...7,82
3	Легкий туман	500...1000	7,82...3,91
4	Слабый туман	1000...2000	3,91...1,96
5	Дымка	2000...4000	1,96...0,954
6	Легкая дымка	10000	0,391
7	Ясно	20000	0,196
8	Очень ясно	50000	0,078
9	Совершенно ясно	> 50000	< 0,078

Рисунок 2.7 – Міжнародний код видимості, та метеорологічна дальність та показник розсіювання[14]

$$\tau_{\text{роз}} = \exp\left[-3.91 \cdot d / SM\right] \quad (2.19)$$

Також, необхідно враховувати сигнал фону [18]. Для цього скористаємось наступною формулою:

$$U_{\text{ТВ}} = \tau_{\text{атм}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot E_{\text{ф}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.20)$$

де  $E_{\text{ф}}$  – освітленість фону.

Вираховуємо корисний сигнал:

$$U_{\text{кор1}} = U_{\text{ТВ}} - U_{\text{ф}} \quad (2.21)$$

Для розрахунку фону в тепловізійному каналі використаємо формулу (2.10). Корисний сигнал вираховуємо аналогічно (2.22)

$$U_{\text{кор2}} = U_{\text{ТП}} - U_{\text{ф}} \quad (2.22)$$

## 2.4 Дослідження результатів злиття зображень для різних умов спостережень

Проведено дослідження впливу коефіцієнта  $\alpha$  на злиття зображення в різних умовах спостереження згідно формули (1.11) в програмі MatLab.

Вхідні зображення с телевізійного (2.8) та тепловізійного (2.9) каналу



Рисунок 2.8 – Зображення з телевізійного каналу



Рисунок 2.9 – Зображення з тепловізійного каналу

В ході виконання дослідницької частини, експериментальним шляхом було з'ясовано, що найкращі результати злиття зображень витікають з усередненого коефіцієнту  $\alpha$ , а саме 0.7.

Результат злиття зображень за допомогою вибраного методу



Рисунок 2.10 – Комплексоване зображення з телевізійного та тепловізійного каналу  
Приклад 2



Рисунок 2.11 – Зображення з телевізійного каналу



Рисунок 2.12 – Зображення з тепловізійного каналу



Рисунок 2.13 – Комплексоване зображення з телевізійного та тепловізійного каналу

## 2.5 Розробка методу для оцінки якості комплексованого зображення на прикладі виявлення літаючих апаратів

Комбінування декількох методів виявлення, оптичного та інфрачервоного випромінювання, дозволить зменшити кількість помилкових виявлень і збільшити загальну ефективність систем виявлення надземних апаратів.

Зіставимо дерево проблем (рис. 2.13)



Рисунок 2.13 – Дерево проблем

Алгоритм роботи, наступний: радар виявляє БПЛА, система обробки сигналу розраховує коефіцієнт правильної і помилкової ймовірності виявлення, якщо ймовірність помилкових свідчень більше 5% - підключається додаткова система з іншим принципом роботи (тепловизійонная система).

Можливість правильного виявлення визначається формулою:

$$d = \int_{U_{пор}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{c+\phi}} e^{-\frac{(U-U_{c+\phi})^2}{2\sigma_{c+\phi}^2}} dU \quad (2.23)$$

Ймовірність виникнення помилки:

$$f = \int_{U_{пор}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\phi}} e^{-\frac{(U-U_{\phi})^2}{2\sigma_{\phi}^2}} dU \quad (2.24)$$

Графічне пояснення умовних ймовірностей правильного виявлення і появи помилкової оцінки:

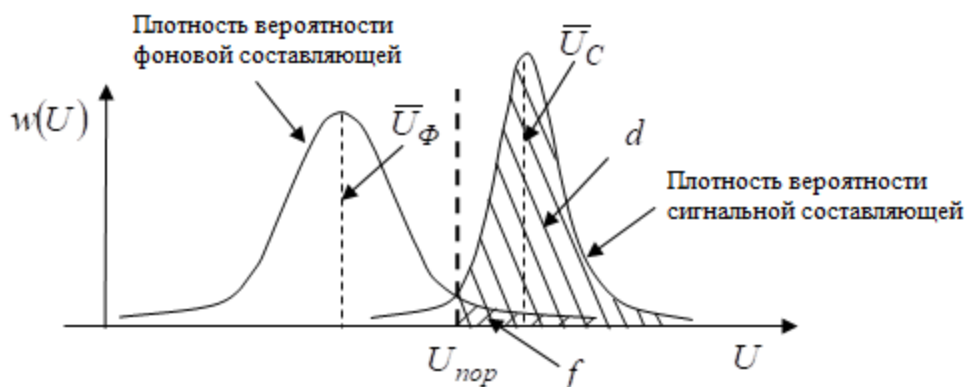


Рисунок 2.10 – Щільність ймовірностей сигнальної і фонові складових

## 2.6 Висновки

Була розроблена фізико-математична модель для тепловізійної та телевізійної систем. Був здійснений огляд умов та вплив ФЦО для реєстрації зображень.

Проведено дослідження обраного методу (1.11) злиття зображень з використанням різних коефіцієнтів  $\alpha$  за допомогою програмного забезпечення MathLab. Результати дослідження показали найкращий коефіцієнт усереднення для злиття зображень з телевізійної та тепловізійної систем. Оцінка якості зображень буде проходити на прикладі виявлення беспілотних літаючих апаратів шляхом моделювання. Сформовано дерево проблем де зібрані основні недоліки сучасних оптико-електронних систем при виявленні БПЛА та причини їх появи, фактори впливаючі на об'єкт дослідження. Розглянуті формули та їх графічне пояснення для розрахунку ймовірності правильного та помилкового виявлення БПЛА.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ПРАВИЛЬНОГО ТА ПОМИЛКОВОГО ВИЯВЛЕННЯ

#### 3.1 Моделювання та розрахунок імовірносних характеристик

Експериментальне дослідження включало в себе розрахунок імовірнісних характеристик виявлень, окремо для зображення з оптичної системи і для комплексірованние зображення з двох систем.

Практично отримані два зображення одного об'єкта з різним спектральним каналом (оптична і тепловизионная система).

Було написано найпростіше програмне забезпечення в середовищі «Microsoft Visual c #» для розрахунку дисперсії, середнього і середньоквадратичного значення яскравості пікселів. Меню програми (рис.1) - є поле для введення назви файлу, який збираємося відкрити, кнопка «відкрити», для завантаження зображення в програму і кнопка «порахувати параметри», для прорахунку параметрів зображення необхідних для розрахунку імовірнісних характеристик.

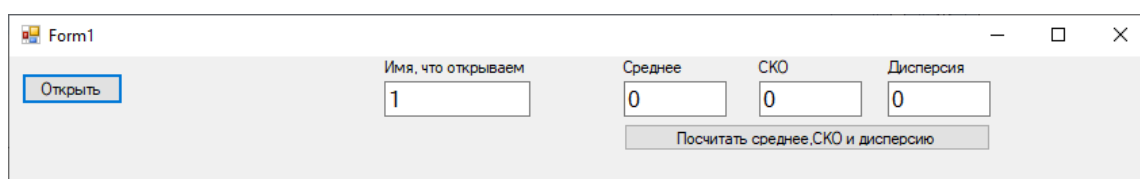


Рисунок 3.1 – Меню програми

## Повний програмний код (рис 4)

```

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        Bitmap d;
        Random ran = new Random();
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        { //открываем файл
            d = new Bitmap(Image.FromFile("C:\\1\\\" + textBox2.Text + ".jpg"));
            pictureBox1.Image = d;}
        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        { //посчитаем среднее тут
            double sr,sko,disp;
            sr = 0;
            Color ii;
            for (int i = 0; i < d.Width - 1; i++) // d.Width d.Height ширина и высота картинки
            {for (int j = 0; j < d.Height - 1; j++) // пробегаемся по всем пикселям
                {ii = d.GetPixel(i, j); // получаем цвет текущего пикселя с координатами i,j
                    sr = sr + (ii.R + ii.B + ii.G) / 3.0; } }
            sr = sr / (d.Width * d.Height);
            textBox4.Text = Convert.ToString(sr);
            sko = 0; //считаем ско
            disp = 0;
            double tempColor;
            for (int i = 0; i < d.Width - 1; i++){
                for (int j = 0; j < d.Height - 1; j++){
                    ii = d.GetPixel(i, j);
                    tempColor = (ii.R + ii.B + ii.G) / 3.0;
                    sko = sko + Math.Pow((tempColor - sr), 2);}}
            sko = sko / (d.Width * d.Height);
            sko = Math.Sqrt(sko); //кстати эо формула корня sko = Math.Sqrt(sko);
            disp = disp + (sko * sko); // дисперсия
            textBox5.Text = Convert.ToString(sko);
            textBox1.Text = Convert.ToString(disp);}
        private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        { }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {}
    }
}

```

Рисунок 3.2 – Програмний код

Дана програма дозволяє прорахувати середню яскравість, середньоквадратичне відхилення та дисперсію фону і об'єкта на зображенні.

Для початку прораховували вірогідність правильного і помилкового виявлення для зображення з оптичної системи (рис.5)

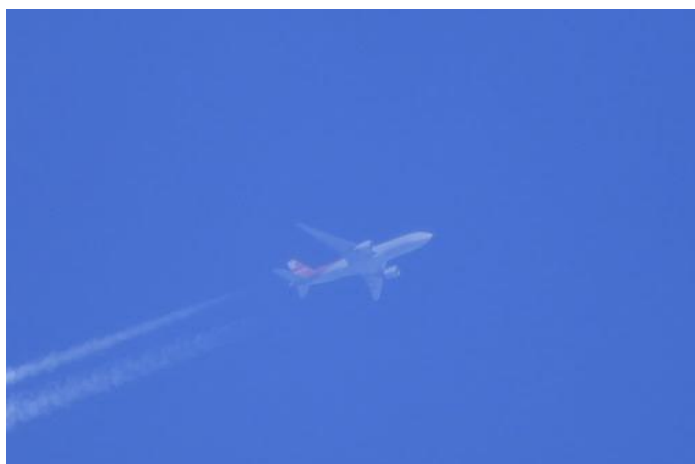



Рисунок 3.3 – Зображення з оптичної системи

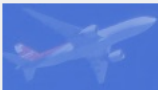
Виділили фонову (шум) і сигнальну (об'єкт) складову і порахуємо параметри для них (рис 6)

Открыть	Имя, что открываем	Среднее	СКО	Дисперсия
	фон кам	128,2312	2,388209	5,703543
Посчитать среднее, СКО и дисперсию				



а

Открыть	Имя, что открываем	Среднее	СКО	Дисперсия
	объект кам	136,4730	10,27852	105,6481
Посчитать среднее, СКО и дисперсию				



б

Рисунок 3.4 – (а) фон, (б) объект

Маючи отриманий дані переходимо до апроксимації функції. Для цього використовуємо програмне середовище «Microsoft Excel». Застосуємо функцію «нормального розподілу», яка повертає нормальну функцію розподілу для вказаного середнього і стандартного відхилення. Будуємо гістограму (рис 7), заочно бачимо щільність розподілу фону і об'єкта. Порахуємо площу для кожного

значення яскравості (кожного стовпчика), яка знадобиться для подальших розрахунків. Вибираємо поріг інтегрування так, щоб захопити максимальну площу сигналу і мінімальну площу шуму.

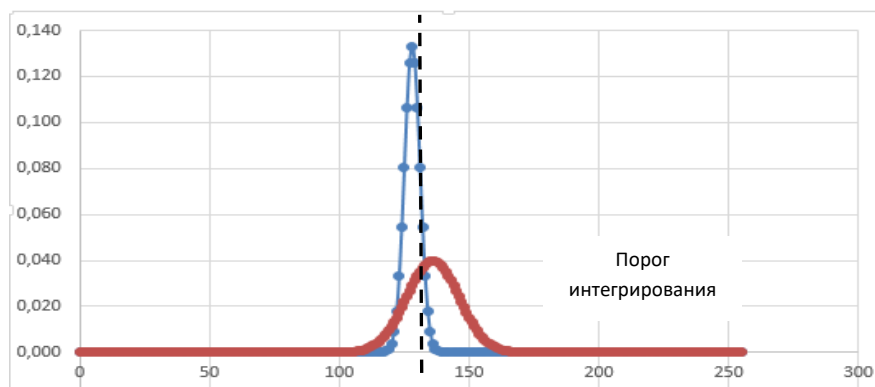


Рисунок 3.5 – Апроксимація функції для зображення з оптичної системи

Знаходимо ймовірності помилкового і правильно виявлення (рис 8) об'єкта методом «прямокутників». Це найпростіший метод наближеного обчислення певного інтеграла. І парадокс полягає в тому, що з цієї причини (мабуть) він досить рідко зустрічається на практиці.

Таблиця 3.1 – Ймовірнісні характеристики для зображення з оптичної системи

Поріг інтегрування	139
Ймовірність правильного виявлення	52%

Можна зробити висновок, що в подібній ситуації оптичної системи недостатньо для ефективної роботи системи. Комплексуємо зображення з оптичною з системи з зображенням тепловізійної системи (рис 9).



Рисунок 3.6 – Комплексоване зображення

Повторюємо аналогічні процедури, що і в першому випадку.



Открыть	Имя, что открываем фон ком	Среднее 126,2967	СКО 2,622593	Дисперсия 6,877999
Посчитать среднее, СКО и дисперсию				
				
Открыть	Имя, что открываем объект ком	Среднее 167,0938	СКО 19,85244	Дисперсия 394,1193
Посчитать среднее, СКО и дисперсию				
				

Рисунок 3.7 – Параметры для комплексованого зображення

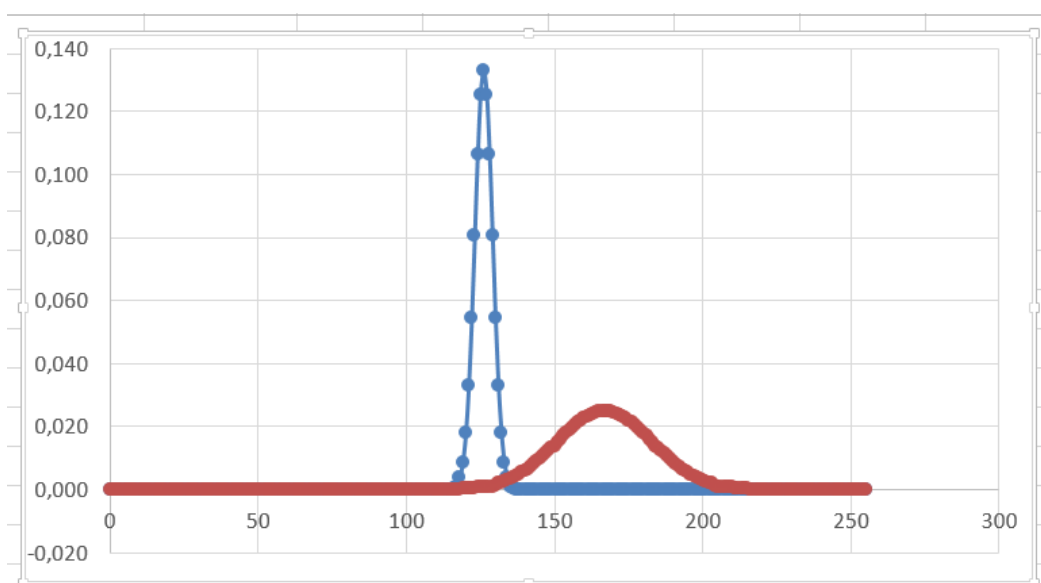


Рисунок 3.8 – Апроксимація функції для комплексованого зображення

Таблиця 3.2 – Ймовірнісні характеристики для комплексованого зображення

Порог інтегрування	136
Ймовірність правильного виявлення	98%

Дане експериментальне дослідження показало, що комбінування декількох систем виявлення БПЛА і комплексуванні їх зображень при необхідності, дозволяє збільшити ймовірність правильного виявлення більш ніж на 40%.

### 3.2 Принцип роботи системи виявлення БПЛА

Використання оптичної системи при поганих погодних умовах зменшує ймовірність правильного виявлення. Також вона залежить від типу БПЛА (його розмірів, типу двигуна, лакофарбового покриття та тп).

Поставлена задача вирішується тим, що постійне, циклічне обчислення ймовірності правильного і помилкового виявлення дає можливість на базі отриманих даних прийняти рішення в необхідності підключення додаткової, тепловізійної системи.

Комплексування зображень з декількох систем дозволяє більш точно відокремити об'єкт від фону. Розроблене програмне забезпечення допоможе прорахувати середню і середнькватратическую яскравість пікселів фону і об'єкта. На базі отриманих даних, система проведе розрахунок ймовірності правильного і помилкового виявлення.

Найпростіша система виявлення працює наступним чином:

В поле зору роботи пристрою з'являється об'єкт, оптична система (1) постійно передає зображення на обчислювальний блок (2). Виконується виділення об'єкта з фону в під-блоці (2.1) і відбувається розрахунок середнього і

середньоквадратичного значення яскравості для фону і об'єкта; на основі отриманих даних система здійснює розрахунок ймовірності правильного і помилкового виявлення. Якщо ймовірність помилкового виявлення перевищує 5% подається сигнал на підключення додаткової тепловізійної системи (3). Зображення потрапляє в під-блок (2.3), де виробляється комплексування двох зображень. Після чого проводиться повторне обчислення імовірнісних характеристик. Інформація передається на відеоконтрольне пристрій (4), яке перетворює отримані дані в форму, зручну, для сприйняття отриманої інформації людиною. Отримана гістограма сприймається оператором (5).

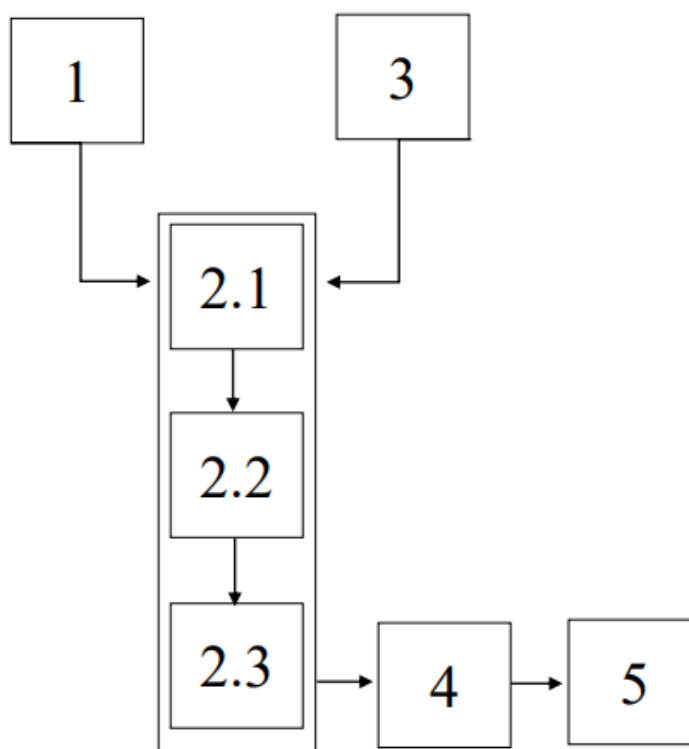


Рисунок 3.9 – Блок-схема роботи пристрою

### 3.3 Висновки

Метод виявлення безпілотних літальних апаратів за допомогою комплексування зображень з телевізійного та тепловізійного каналу дозволяє значно поліпшити імовірнісні характеристики.

Моделювання показало, що імовірність правильного виявлення зростає більш ніж на 40% у порівнянні з зображеннями з одного спектрального каналу.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє автоматично розраховувати середню яскавість пікселі, середньоквадратичне відхилення та дисперсію, чого достатньо для розрахунку імовірносних характеристик.

Подібна система на базі даного методу відмінно покаже себе у військовій сфері, а також знайде своє застосування в комерційному використанні. Розробка може бути перепрофільована для виявлення надводних об'єктів в морях і океанах. Порівняно невеликі розміри і простота конструкції дозволяють встановити систему на борту літального апарату, який веде розвідку водного простору.

## ВИСНОВКИ

Мета дисертації заключається в покращенні споживчих якостей оптикоелектронних систем спостереження.

Розглянуто структуру та принцип роботи багатоканальної оптикоелектронної системи. Був проведений огляд найпопулярніших методів комплексування зображень, їх переваги та недоліки. Для роботи був обраний метод усереднення. Цей метод потребує мінімальних обчислювальних затрат, вихідне зображення має згладжені деталі об'єктів, що веде за собою зменшення шумової складової.

Розглянули основні алгоритми оцінки якості отриманих зображень. В подальшому будемо використовувати кількісну оцінку за допомогою програмного забезпечення.

Була розроблена фізико-математична модель для тепловізійної та телевізійної систем. Був здійснений огляд умов та вплив ФЦО для реєстрації зображень.

Проведено дослідження методу усереднення – злиття зображень з використанням різних коефіцієнтів  $\alpha$  за допомогою програмного забезпечення MathLab. Результати дослідження показали найкращий коефіцієнт усереднення для злиття зображень з телевізійної та тепловізійної систем. Оцінка якості зображень буде проходити на прикладі виявлення беспілотних літаючих апаратів шляхом моделювання. Сформовано дерево проблем де зібрані основні недоліки сучасних оптико-електронних систем при виявленні БПЛА та причини їх появи, фактори впливаючі на об'єкт дослідження. Розглянуті формули та їх графічне пояснення для розрахунку ймовірності правильного та помилкового виявлення БПЛА.

Метод виявлення безпілотних літальних апаратів за допомогою комплексування зображень з телевізійного та тепловізійного каналу дозволяє значно поліпшити імовірнісні характеристики.

Моделювання показало, що імовірність правильного виявлення зростає більш ніж на 40% у порівнянні з зображеннями з одного спектрального каналу.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє автоматично розраховувати середню яскравість пікселі, середньоквадратичне відхилення та дисперсію, чого достатньо для розрахунку імовірносних характеристик.

Подібна система на базі даного методу відмінно покаже себе у військовій сфері, а також знайде своє застосування в комерційному використанні. Розробка може бути перепрофільована для виявлення надводних об'єктів в морях і океанах. Порівняно невеликі розміри і простота конструкції дозволяють встановити систему на борту літального апарату, який веде розвідку водного простору.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 192 с
2. Тарасов В.В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения/ Тарасов В.В. Якушенко Ю.Г. – М.: Университетская книга, Логос, 2007. – 192 с.
3. Тарасов В.В. Инфракрасные системы "смотрящего" типа/Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. - М.: Логос, 2004. – 269с.
4. J.S.Accetta Infrared and Electro-Optical System Handbook /J.S.Accetta, D.L. Shumaker - ERIM, Ann Arbor, Bellingham: SPIE Proc., 1993. - 3024 p
5. Климанський Д. М. Методи комплексуювання зображень / Климанський Д. М., Васильчук М. Т., Микитенко В. І.// XIV Всеукраїнська науковопрактична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 62-64 с
6. А.С.Васильев Методы комплексирования изображений в многоспектральных оптико-электронных системах/ А.С. Васильев, А.В. Трушкина// Приборостроение - 2017, т.60 №7 , - С.647-653.
7. Аксенов О.Ю. Совмещение изображений/ Аксенов О.Ю. // Цифровая обработка сигналов - 2005 - № 3 – С. 51-55
8. Многоспектральные изображения [Электронный ресурс]/ laser-portal.ru – Режим доступа: [http://www.laser-portal.ru/content\\_597](http://www.laser-portal.ru/content_597)
9. Комплексуювання зображень у цілодобових двоканальних системах спостереження [електронний ресурс]/ela.kpi.ua – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/10737>

10. Р.У. Биард и Т.У МакЛэйн. *Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика*. Техносфера, 2016
11. С.В. Шишков, А.В. Пархоменко, Е.М. Устинов, В.В. Смогунов, Ю.В. Илясов и Д.В. Ивасенко. *Устройство разведки объектов методом комбинированного стереоэффекта*. Федеральный институт промышленной собственности, 2014.
12. Т.А. Стрелкова, А.П. Лытюга, А.С. Калмыков и Я.Н. Кожушко. *Оптимизация параметров обнаружения сигналов в оптико-электронных системах контроля воздушного пространства*. 12-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2019»
13. Paul Fahlstrom and Thomas Gleason. *Introduction to UAV Systems*, 2014.
14. A. Moses, M. J. Rutherford and K. P. Valavanis. *Radar-based detection and identification for miniature air vehicles*. IEEE International Conference on Control
15. В.И. Воловач, В.М. Артюшенко. *Вероятностные характеристики процесса поиска и обнаружения протяженного объекта в непрерывном и дискретном времени наблюдения*. Успехи современной радиоэлектроники. 2016, № 12. С. 58-67.
16. Qilei Li, Xiaomin Yang, Wei Wu, Kai Liu, and Gwanggil Jeon. *Multi-Focus Image Fusion Method for Vision Sensor Systems via Dictionary Learning with Guided Filter - Sensors (Basel)*. 2018 Jul; 18(7): 2143.
17. Колобродов В.Г., Микитенко В.І. *Комплексування інформації в багатоканальних оптико-електронних системах спостереження* (монографія) К.: «Аверс», 2013. – 178 с.
18. Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов, *Оценки качества для анализа цифровых изображений*. "Штучний інтелект" – 2008 - №4 – С.376 – 386.