

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)

Дослідження методів фільтрації зображень при дистанційному зондуванні.

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЕПШм 18-1

Ващенко М.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 проф. Стрілкова Т.О.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І.М.

(прізвище, ініціали)

2019 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 Ващенко Михайлу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ ЗОНДУВАННІ»

затверджена наказом по університету від 04 листопада 2019 р. № 1635 Ст

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

3. Вихідні дані до роботи серія кадрів досліджуваного об'єкта, висота зйомки – 70 метрів, просторове розрізнення – 0,5 м, відхилення від надира – 50, ширина смуги зйомки – 30 км

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі збір та вивчення джерел інформації, складання плану роботи, розробка і узгодження першого розділу диплома, розробка і узгодження другого розділу диплома, планування експериментальних досліджень, проведення експериментальних досліджень, аналіз кінцевих результатів експерименту, розробка і узгодження третього розділу диплома, написання висновків і вступу, виправлення зауважень, підписання необхідних документів, підготовка доповіді та графічного матеріалу

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) фільтрація сигналів при дистанційному зондуванні, дерево проблем, результати застосування методу накопичення кадрів, результати застосування геометричної корекції кадрів разом з методом накопичення кадрів

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Збір та вивчення джерел інформації	04.11-08.11	
2.	Складання плану роботи	09.11-11.11	
3.	Розробка і узгодження першого розділу диплома	12.11-15.11	
4.	Розробка і узгодження другого розділу диплома	16.11-18.11	
5.	Планування експериментальних досліджень	19.11-21.11	
6.	Проведення експериментальних досліджень	22.11-24.11	
7.	Аналіз кінцевих результатів експерименту	25.11-27.11	
8.	Розробка і узгодження третього розділу диплома	28.11-30.11	
9.	Написання висновків і вступу	01.12-02.12	
10.	Виправлення зауважень	03.12-04.12	
11.	Підписання необхідних документів	05.12-06.12	
12.	Підготовка доповіді та графічного матеріалу	07.12-16.12	

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ проф. Стрілкова Т.О.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 78 сторінок, 33 рисунки, 3 додатки, 21 джерело.

ДИСПЕРСІЯ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ, ЗОБРАЖЕННЯ, КОНТРАСТ, ПІКСЕЛЬ, РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, СИГНАЛ, ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ШУМОВА СКЛАДОВА, ЯСРКАВІСТЬ

Об'єкт дослідження. Методи формування сигналу в дистанційному зондуванні.

Предмет дослідження. Імпульсні і геометричні спотворення, виявлені при первинному аналізі отриманого сигналу.

Мета роботи. Дослідження можливостей існуючих методів фільтрації для підвищення ефективності вилучення інформації в сфері дистанційного зондування.

Методи дослідження. У роботі використовується метод аналізу для більш детального дослідження кожного з типів спотворень сигналу і їх впливу на кінцевий результат. За допомогою математичного моделювання було проведено порівняння характеристик зображення від кількості кадрів в рамках досліджуваного методу фільтрації.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 78 pages, 33 drawings, 3 applications, 21 sources.

DISPERSION, REMOTE SENSING, IMAGE, CONTRAST, PIXEL, OBJECT RECOGNITION, SIGNAL, IMAGE FILTER, NOISE, SCALING

Object of study. Methods of signal generation in remote sensing.

Subject of study. Impulse and geometric distortions detected in the initial analysis of the received signal.

Purpose. Investigate the possibilities of existing filtering methods to improve the efficiency of information retrieval in the field of remote sensing.

Research Methods. The method of analysis is used to investigate more closely each of the types of signal distortions and their effect on the final result. Using mathematical modeling, the characteristics of the image were compared by the number of frames within the studied filtering method.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ .....	10
1.1 Спектральні діапазони зйомки .....	13
1.2 Космічні апарати ДЗЗ.....	15
1.2.1 Супутник UK-DMC2 .....	17
1.2.2 Супутники Pleiades.....	17
1.3 Апаратна реалізація методу накопичення.....	19
2 МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ.....	26
2.1 Методи розпізнавання.....	27
2.1.1 Метод виділення контурів об'єктів на супутникових знімках .....	28
2.1.2 Алгоритм локалізації будівель заданої форми .....	29
2.1.3 Метод обробки інформаційних зображень в системах моніторингу ...	38
2.2 Фільтрація шумової складової.....	45
2.2.1 Моделі шуму.....	46
2.2.1.1 Гаусів шум .....	46
2.2.1.2 Шум Релея .....	47
2.2.1.3 Імпульсний шум .....	48
2.2.2 Побудова статистичних методів виключення спостережень.....	50
2.2.3 Особливості оброблення космічних знімків.....	55
2.2.4 Медіанний фільтр.....	58
2.2.5 Метод серединної точки .....	60
2.2.6 Сігма-фільтр .....	61
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ.....	64
3.1 Вплив методу накопичення на характеристики зображення.....	66
3.2 Корекція зсуву кадрів при застосуванні методу накопичення .....	69
ВИСНОВКИ .....	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	76
ДОДАТОК А .....	79
ДОДАТОК Б.....	80
ДОДАТОК В.....	81

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ГРЦЗ – група розрядних цифрових зображень

ДЗ – дистанційне зондування

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

ЕМВ – електромагнітне випромінювання

ІЧ – інфрачервоний

КА – космічний апарат

РДЗ – розрядні двійкові зображення

ССШ – співвідношення сигнал і шум

ЦЗ – цифрове зображення

## ВСТУП

Дослідження навколишнього середовища за допомогою дистанційного зондування – це складна і різнобічна область науки, яка перебуває на періоді бурхливого розвитку. Сучасні методи дистанційного зондування відкрили новий етап в сфері забезпечення інформацією різноманітних досліджень та розробок.

За допомогою КА дослідники мають можливість збирати і передавати дані в різних діапазонах електромагнітного спектра, які в комплексі з більш масштабними наземними і повітряними вимірами, забезпечать необхідний спектр даних для моніторингу актуальних явищ і тенденцій. І хоча трудомісткі дослідження проводяться на невеликій площі, вони дають можливість узагальнювати дані на величезні простори і навіть на всю земну кулю. Широта охоплення є характерною рисою супутникових методів дослідження Землі. До того ж ці методи, як правило, дозволяють отримувати результат за порівняно короткий інтервал часу.

Отриманні дані від супутників накопичуються в спеціально організованих базах даних. Результати зйомки – первинно оброблені дані дистанційного зондування Землі, які можуть бути представлені у вигляді візуальних зображень незалежно від смуги реєстрованого спектра. Візуалізація даних здійснюється в обраному аспекті дослідження навколишнього середовища. Актуальний рівень розвитку методів ДЗЗ дозволяє їх розглядати як методи і технології відображення об'єктів земної поверхні, які породжують складні інформаційні системи, основою яких є методи розпізнавання образів об'єктів і фактів різних класів: поверхневі ефекти, атмосферний явища.

Для отримання максимального інформаційної складової від отриманих даних систем ДЗ, необхідно провести процес фільтрації. Фільтрація даних дозволяє:

- зменшити вплив флуктуаційних перешкод;

- виконати усунення імпульсних перешкод;
- зберегти деталі, межі та інші інформаційні ознаки;
- забезпечити умови для подальшої інтерпретації зображень і розв’язку обернених задач.

Актуальність досліджень в області обробки знімків земної поверхні визначається необхідністю підвищення якості обробки зображень, потребою застосування ефективних методів обробки зображень. Не викликає сумніву необхідність розробки нових методів і алгоритмів обробки космічних знімків, які забезпечують адекватні перетворення зображень земної поверхні з точки зору їх подальшого використання. Вирішення цієї проблеми дозволяє мінімізувати помилки у визначенні характеристик досліджуваних об’єктів на земній поверхні і забезпечує високий рівень достовірності інтерпретацій аналізованих знімків.

Наведені вище напрямки застосування методів обробки і реєстрації зображень вказують на широкий набір засобів, які застосовуються при обробці даних дистанційного зондування Землі. Важливим є питання впорядкування використання даних засобів для організації найбільш ефективного їх використання при вирішенні поставлених завдань, пов’язаних з аналізом інформації про земну поверхню.

За матеріалами досліджень були опубліковані тези на науково-практичній конференції «Гуманітарні та природничі науки: актуальні питання» 25-29 жовтня 2019 року у місті Івано-Франківську, під редакцією [1].

## 1 ОГЛЯД СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Дистанційне зондування передбачає під собою процес отримання інформації про досліджуваний об'єкт без прямого фізичного контакту з ним. Тобто без безпосереднього контакту прийомних чутливих елементів апаратури з поверхнею досліджуваного об'єкта [2].

Отримання даних за допомогою дистанційного зондування є складним процесом, який включає в себе реєстрацію даних, отриманих завдяки взаємодії енергії, випромінюваної джерелом ЕМВ і її взаємодію з поверхнею досліджуваного об'єкта (рис. 1.1). Реєстроване випромінювання, або природне, або штучне, створене джерелом випромінювання, яке розташоване на реєструючому пристрою.

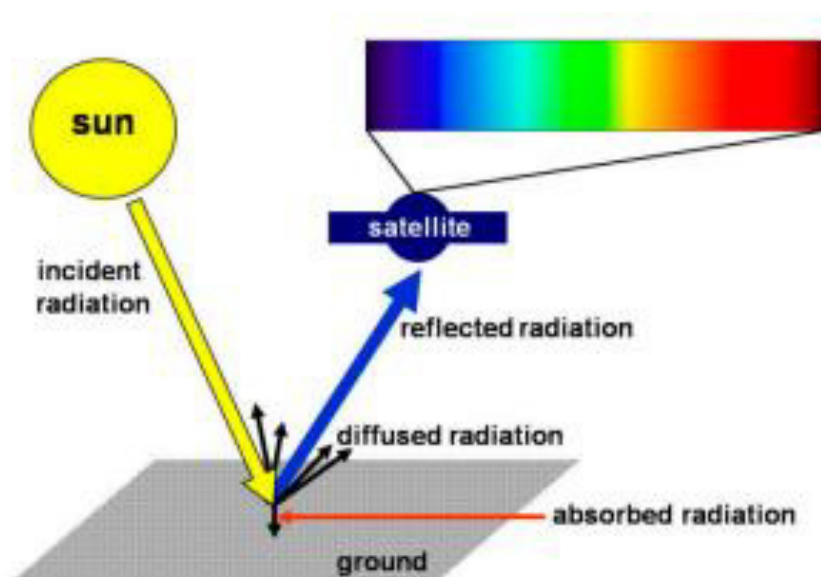


Рисунок 1.1 – Процес отримання даних системою дистанційного зондування

Після реєстрації енергії за допомогою чутливого сенсора, отримані дані передаються в цифровому вигляді на приймаючу станцію, де з отриманих

даних формується зображення. Якість отриманого зображення визначається такими параметрами, як просторове, спектральний і часове розрізнення.

Просторове розрізнення – це величина, що характеризує розмір найменших об’єктів, які можна ідентифікувати на зображенні. Цей параметр залежить від кута, на якому розташовується сенсор, щодо досліджуваного об’єкта, стану атмосфери та інших факторів (рис. 1.2). З огляду на перелічені фактори, можна зробити висновок про те, що просторове розрізнення, і відповідно якість отриманих даних, змінюється від центру зображення до краю смуги огляду згідно з [3].

Для прикладу можна взяти зображення, отримані від супутника, які мають 250 метрів в наземній роздільній здатності. Кожен піксель зображення можна порівняти площі – 240 м на 240 м, або 5,76 га.

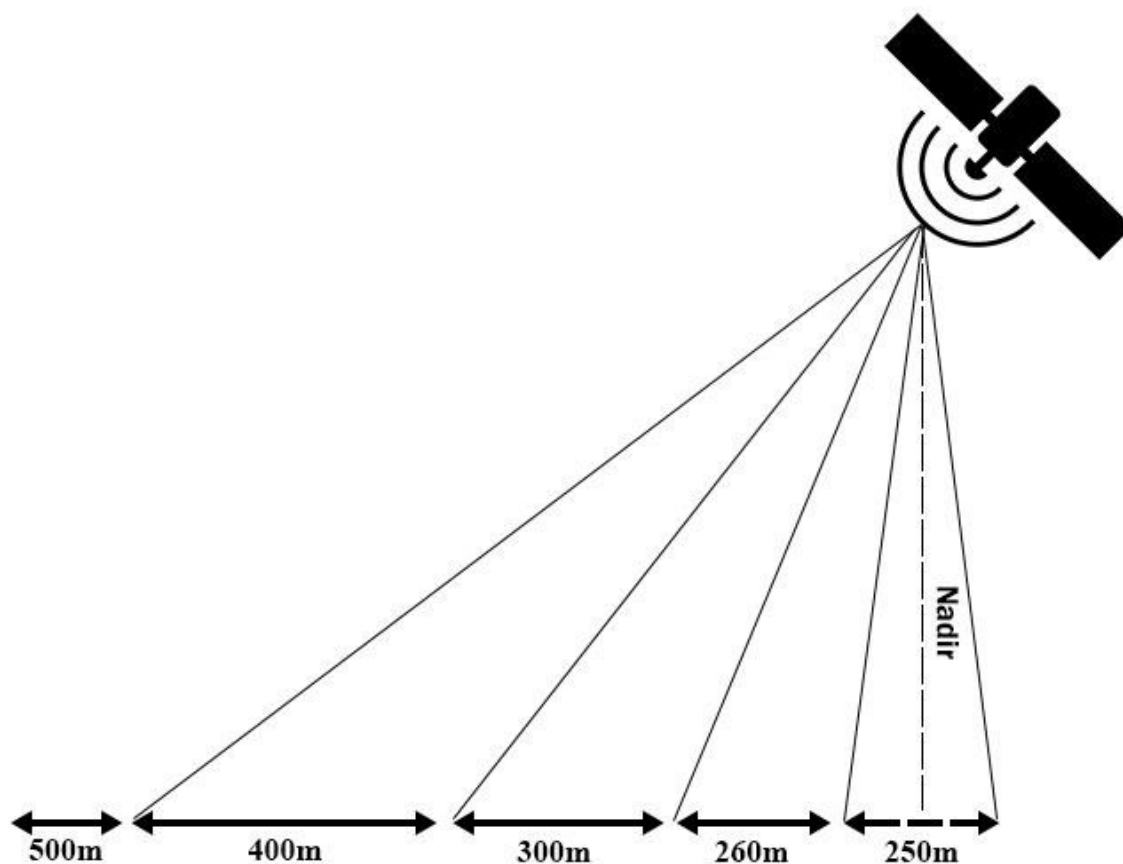


Рисунок 1.2 – Залежність просторового розрізнення від кута зйомки

Безпосередньо під прямим кутом, просторове розрізнення становить – 240 метрів, але як тільки досліджуваний об'єкт виходить за межі області, яка розташовується під прямим кутом до супутника, тим сильніше збільшиться просторове розрізнення одного пікселя.

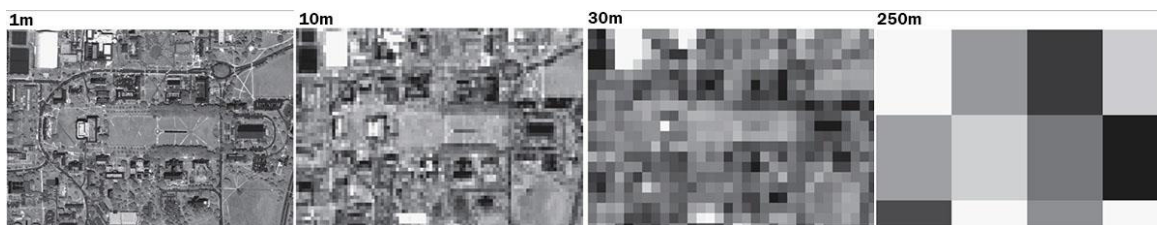


Рисунок 1.3 – Типи просторового розрізнення

Часове розрізнення – це період часу, протягом якого здійснюється повторна зйомка однієї і тієї ж досліджуваної області.

Спектральне розрізнення характеризує ділянки спектра електромагнітних хвиль, які здатний реєструвати сенсор.

Апаратура ДЗЗ, особливо та, яка встановлюється на КА, дозволяє проводити періодичну зйомку земної поверхні і таким чином спостерігати за змінами навколишнього середовища і впливу на неї людини. Серед областей застосування апаратури ДЗ, варто відзначити:

- моніторинг і оцінка стану навколишнього середовища (аналіз розвитку міської інфраструктури, контроль за небезпечними відходами виробництва);
- спостереження за глобальними змінами (виснаження озонового шару атмосфери, спостереження за станом лісів, глобальне потепління);
- сільське господарство (аналіз стану сільськогосподарських культур, прогноз врожаю, дослідження ерозії ґрунтів);
- видобуток корисних копалин (мінерали, нафта, природний газ);
- спостереження за поновлюваними природними ресурсами;
- метеорологія (дослідження динаміки атмосфери, прогноз погоди);
- картографія (топографія, землекористування, цивільне будівництво);

– військова область.

Для задоволення потреб різних категорій фахівців було розроблено безліч систем ДЗ, за допомогою яких вивчають просторові, спектральні і часові параметри найрізноманітніших об'єктів. Кожна з цих систем орієнтована на певне коло завдань і має свої особливості.

### 1.1 Спектральні діапазони зйомки

Спектральні діапазони, що знаходять застосування в ДЗЗ, характеризують присутністю вікон прозорості атмосфери, які дозволяють досліджувати поверхню землі, а також наявністю ефективних реєструючих пристроїв.

Поглинання випромінювання спостерігається поза вікон прозорості різними складовими атмосфери. Прикладом може служити енергія випромінювання, що поглинається діоксидом вуглецю і водяною парою, розташовується в діапазоні від 2,4 мкм до 8 мкм. Менше вікно поглинання розташовується в мікрохвильовому діапазоні, поблизу 22 ГГц, довжина хвилі 1,36 см. Коефіцієнт пропускання для даного вікна дорівнює – 0,85, згідно з [4].

У разі застосування пасивного методу ДЗ, реєструється сонячне випромінювання і випромінювання земної поверхні, хмар і атмосфери. В ближній інфрачервоній, видимій і короткохвильовій інфрачервоній області спектра лідирує відбите сонячне випромінювання. Істотний внесок в середньохвильовій зоні вносять всі складові випромінювання. Власне теплове випромінювання землі переважає при довжині хвилі понад 5 мкм. Так як це випромінювання не залежить від Сонця, реєстрацію випромінювання можна вести як в денний, так і в нічний час.

Під час застосування активного дистанційного зондування датчики використовуються в якості штучного джерела випромінювання. Результуючий сигнал містить інформацію про атмосфері, або про земну поверхню.

Основні спектральні діапазони, які використовуються в ДЗ наведені в таблиці 1.1. Межі деяких атмосферних вікон визначені не завжди чітко. Саме цим визначається розкид значень, який зустрічається в науковій літературі.

Таблиця 1.1 – Основні спектральні діапазони, використовувани в ДЗЗ

Назва	Діапазон довжин хвиль	Джерело випромінювання	Аналізований параметр поверхні
Видимий	0,4-0,7 мкм	Сонце	Відбивна здатність
Ближній інфрачервоний	0,7-1,1 мкм	Сонце	Відбивна здатність
Короткохвильовий Інфрачервоний	1,1-1,35 мкм 1,4-1,8 мкм 2-2,5 мкм	Сонце	Відбивна здатність
Середньохвильовий інфрачервоний	3-4 мкм 4,5-5 мкм	Сонце, джерела тепла	Відбивна здатність, температура
Тепловий інфрачервоний	8-9,5 мкм 10-14 мкм	Джерела тепла	Температура
Мікрохвильовий канал	от 1 мм до 1 м	Теплове (пасивна система), штучне (активна система)	Температура, рельєф

На рисунку 1.4 демонструється крива чутливості зорової системи людини разом з кривою спектральної щільності енергетичної освітленості. З графіка видно, що та частина, яку здатне сприймати людське око, відноситься до малої частини сонячного спектра, яка в свою чергу складає малу частку спектра електромагнітного випромінювання.

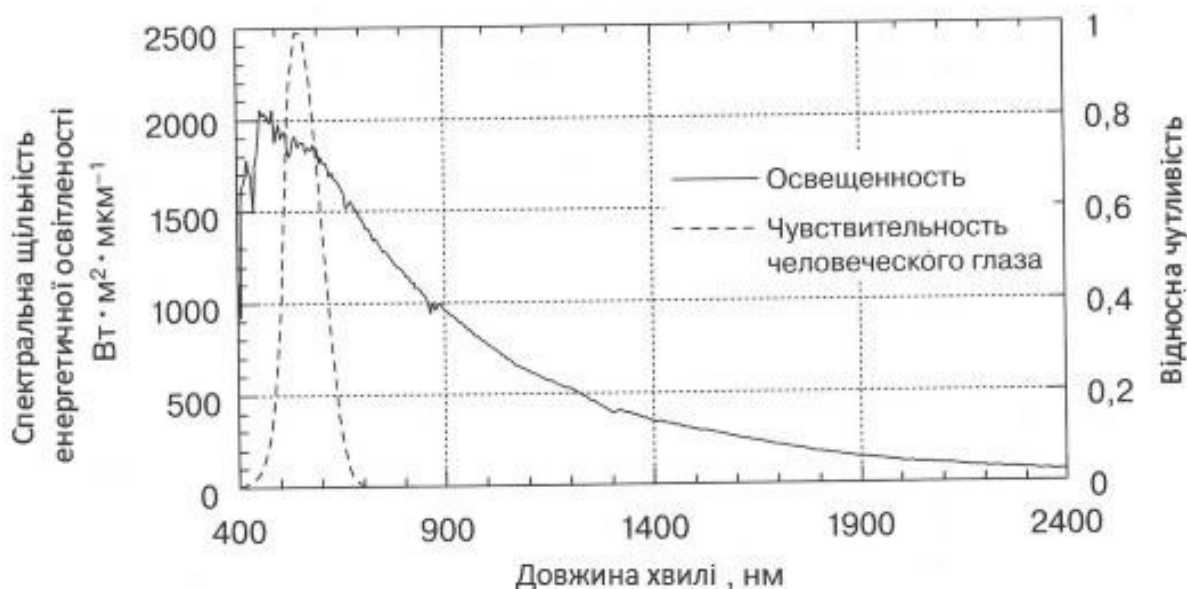


Рисунок 1.4 – Спектральна щільність верхньої межі атмосфери і чутливість людського ока

Таким чином, маючи можливість візуалізувати будь-яку частину спектру на екрані, основна частина даних, одержуваних від систем ДЗ буде поза видимій області.

## 1.2 Космічні апарати ДЗЗ

Технології дистанційного зондування змінюються й розвиваються зі стрімким темпом, більшим, ніж в будь-який період з моменту світанку космічного дистанційного зондування в 1960 і 1970 роки. Збіг факторів дозволило полегшити створення, запуск і експлуатацію супутників, одночасно стало набагато простіше і ефективніше розробляти програми для роботи з даними, отриманими шляхом дистанційного зондування.

Серед факторів, які суттєво вплинули на цю зміну варто відзначити:

- збільшення кількості малих супутників;
- поява комерційних корпорацій, активно займаються наглядом Землі з космосу.

Існує великий клас систем ДЗЗ, які формують зображення досліджуваної поверхні. В цьому класі апаратів, прийнято виділяти два підтипу, які відрізняються по спектральному діапазону реєстрованого випромінювання і за типом пристрою, що реєструє випромінювання.

За методом зондування розрізняють наступні пристрої [5]:

- фотографічні системи;
- системи сканування видимого і інфрачервоного діапазону;
- радіолокаційні системи;
- оптико-механічні й оптико-електронні системи та багато спектральні сканери;
- телевізійні оптичні системи.

За типом одержуваних даних супутники ДЗЗ ділять на:

- надвисокого розрізнення, до 1 м. Серед існуючих функціонуючих супутників з цим дозволом можна виділити такі апарати: Ikonos-2, QuickBird-2, Pleiades;

- високого розрізнення, від 1 м до 10 м. Зйомка такого розрізнення раніше проводилася виключно для військових цілей. Однак з'явилися комерційні космічні системи з високою роздільною здатністю, які дозволяють проводити просторовий аналіз з більшою точністю або уточнювати результати аналізу, виконаного за даними більш низької роздільної здатності. Апарати: EROS-A, SPOT-5;

- середнього розрізнення, від 10 до 250 м. Знімки середнього просторового розрізнення на сьогодні є найбільш доступним джерелом даних для моніторингу природного середовища.

- низького розрізнення, понад 250 м. Такі дані широко використовуються в метеорології. Оглядові знімки мають низьку просторову роздільну здатність, але дозволяють охоплювати значні території.

В даний час навколо нашої планети обертається понад 7 тисячі супутників, з них діючі – трохи більше 1400. Виходить, решта майже 6 тисяч це не діючі космічні об'єкти.

### 1.2.1 Супутник UK-DMC2.

Супутник UK-DMC2 (рис. 1.4), розроблений і вироблений англійською компанією Surrey Satellite Technology Limited (SSTL), світовим лідером в створенні малих КА, входить до складу угруповання супутників Disaster Monitoring Constellation, володіє унікальним поєднанням просторового дозволу 22 м, спектральних каналів і ширини смуги зйомки до 600 км. Такі параметри дозволяють регулярно вести моніторинг великих територій, в першу чергу, для завдань сільського господарства. Технічні характеристики наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики бортової апаратури UK-DMC2

Найменування знімальної апаратури	SLIM-6-22
Фокусное расстояние, м	0,16
Спектральні діапазони, мкм	зелений – 0,52-0,60 червоний 0,63-0,69 ІЧ – 0,77-0,90
Розрізнення на місцевості, м	22
Ширина смуги захоплення, км	660

### 1.2.2 Супутники Pleiades.

Pleiades – нове сімейство супутників ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення, що складається з двох однакових супутників Pleiades-1A і Pleiades-1B, перший з яких виведений на орбіту висотою 694 км 16 грудня 2011 року, другий – 2 грудня 2012 р. Використання обох супутників одночасно на орбіті, зміщеній на 180°, дозволяє:

- отримати щоденну доступність до будь-якої точки Землі та оперативних знімків, які необхідні задачам в військовій галузі та цивільно для забезпечення безпеки;

- високу можливість покриття, яка необхідна для картографування та потреб землеустрою.

Знімальна апаратура розміщена таким чином, що центральна конструкція підтримує перше, третє і плоскі дзеркала і центральний циліндр на якому закріплено друге дзеркало (рис. 1.5).

Матеріалом для виготовлення цієї конструкції був обраний карбід кремнію, для дзеркал – церодур. Основними факторами для вибору карбиду кремнію послуговували наступні фактори: низький коефіцієнт теплового розширення і щільність, яка обумовлює малу вагу телескопа, який полегшує тепловий контроль.

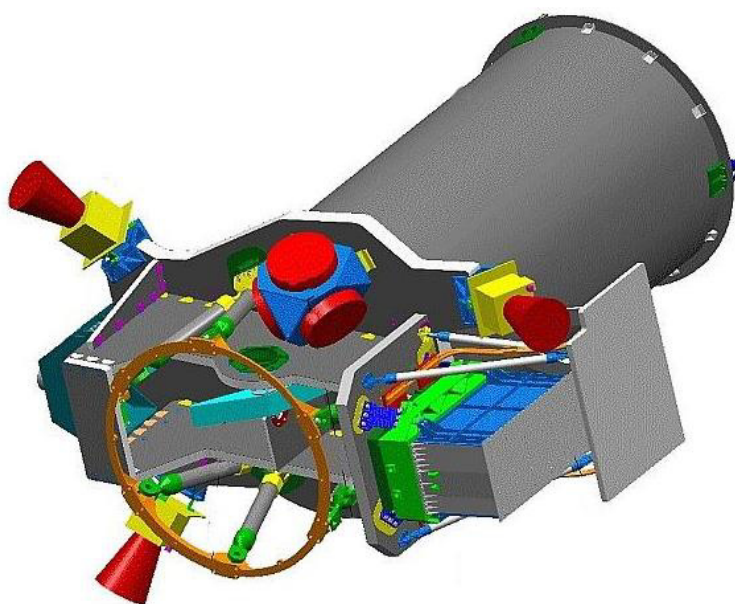


Рисунок 1.5 – Пристрій знімальної апаратури

З весни 2012 року користувачі в усьому світі отримують нові дані, що відрізняються, широкою смугою зйомки, високою точністю геопозиціонування – менше 4,5 м, без використання наземних опорних точок, а також можливістю автоматизованого отримання відкоригованих продуктів протягом 30 хвилин.

Крім того, Pleiades здатні здійснювати отримання однопрохідних стереопар і триплетів, а також зйомку ділянок до 100x100 км з одного витка.

Технічні характеристики бортової апаратури наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики бортової апаратури Pleiades

Режим зйомки	Панхроматичний	Мультиспектральний
Спектральний діапазон, мкм	0,48-0,83	Синій – 0,43-0,55 Зелений – 0,49-0,61 Червоний – 0,60-0,72 ІЧ – 0,79-0,95
Просторове розрізнення, м	0,5	20

Області застосування супутників Pleiades:

- створення і оновлення топографічних та спеціальних карт і планів аж до масштабу 1: 2000;
- інвентаризація та контроль будівництва об'єктів інфраструктури транспортування та видобутку нафти і газу;
- інвентаризація сільськогосподарських угідь, створення планів землекористування, точне землеробство;
- оновлення топографічної основи для розробки генеральних планів розвитку міст, схем територіального планування муніципальних районів;
- інвентаризація і моніторинг стану транспортних, енергетичних, інформаційних комунікацій;
- широке коло завдань у галузі охорони навколишнього середовища.

### 1.3 Апаратна реалізація методу накопичення

Для підвищення чутливості знімальної апаратури в сучасних КА ДЗЗ високої роздільної здатності використовується режим зйомки з накопиченням, що дозволяє збільшити час експозиції рядка за рахунок зниження швидкості переміщення проекції лінійки ПЗС по поверхні Землі шляхом перенацілювання супутника під час зйомки (рис. 1.6), як зазначено в [6].

Крім підвищення чутливості, істотно збільшується оперативність і достовірність супутникової зйомки протяжних територій складної конфігурації на підстильній поверхні. Даний метод дозволяє:

- виконувати за один виток зйомку довільно розташованих протяжних ділянок складної конфігурації;
- збільшити корисний об'єм даних ДЗЗ, одержуваних в одному сеансі зйомки;
- проводити зйомку з сусідніх витків при менших кутах Сонця (при заданому відношенні сигнал / шум);
- виявляти на знімках слабконтрастні об'єкти при заданих умовах освітленості, як наведено в [7];
- підвищити відношення сигнал / шум супутникових знімків і виконувати більш якісно процедури класифікації знімка, що використовують радіометричні й спектральні ознаки.

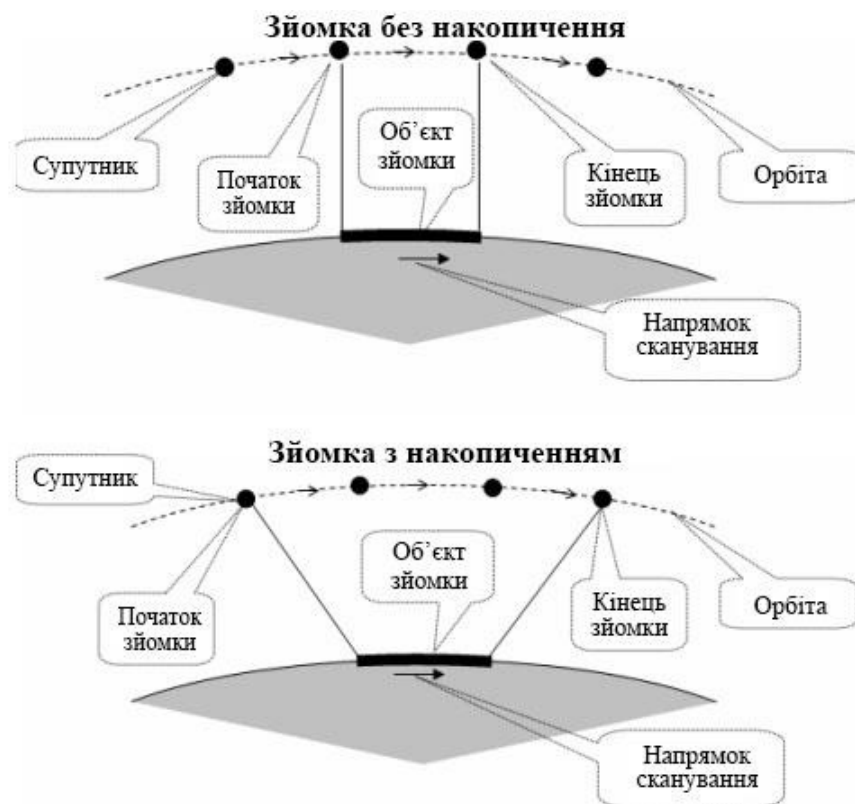


Рисунок 1.6 – Процес перенацілювання супутника

Як зазначено в роботі [8], поле зору сканера високого дозволу зазвичай становить одиниці градусів, а кут перенацілювання – десятки градусів, тобто ширина смуги огляду перевищує приблизно на порядок ширину смуги захоплення. Зйомка ведеться при фіксованому куті крену і близьких до нуля кутах тангажу і рискання. Перенацілювання по крену (рис. 1.7) дозволяє трохи підвищити, технічні характеристики супутників високого просторового дозволу, наприклад, виконати багатовиткову зйомку об'єктів, що знаходяться в стороні під супутниковою трасою, або стереозйомку однієї території з сусідніх витків.

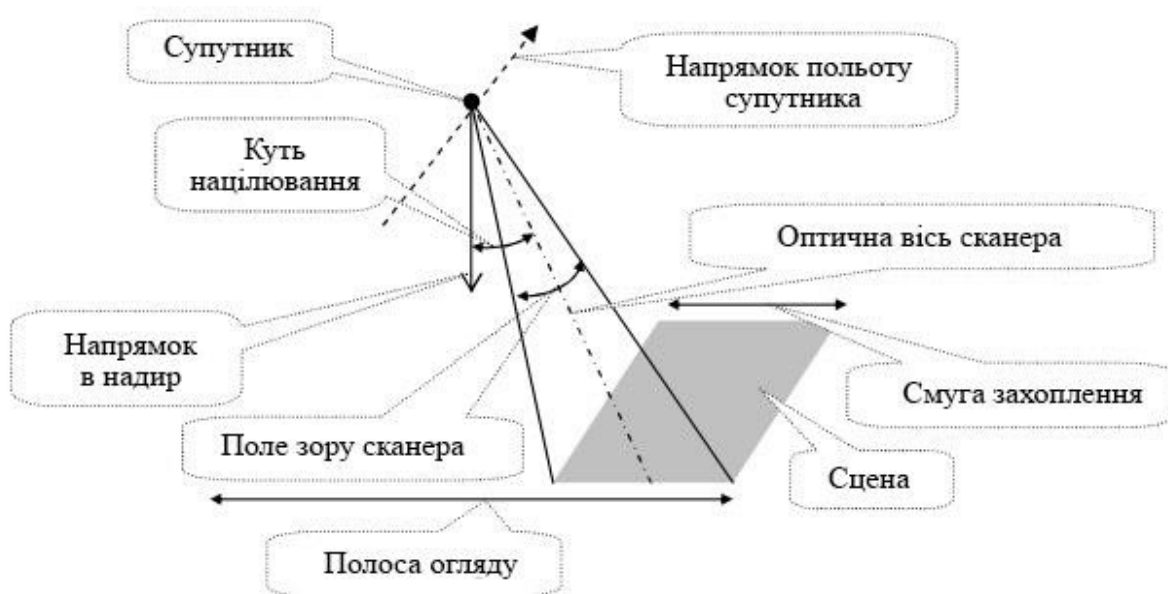


Рисунок 1.7 – Зйомка з перенацілюванням по крену

Якщо зйомка проводиться в процесі перенацілювання супутника, а саме з ненульовими кутівими швидкостями орієнтації, то можна вибрати оптимальний напрямок сканування і знімати довільно розташовані довгі ділянки за один виток, більш оперативно, (рис. 1.8).

При розробці математичних моделей технології зйомки з накопиченням необхідно використовувати цифрові моделі рельєфу масштабу М1: 200 000 або більше. Розробку технології зйомки з накопиченням розбити на наступні етапи:

- розробка методики зйомки з накопиченням і відповідних алгоритмів;
- створення програмного забезпечення планування зйомки/

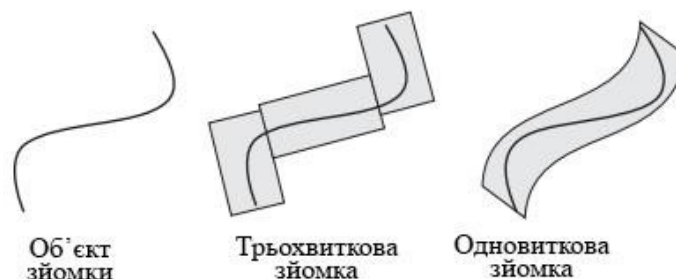


Рисунок 1.8 – Зйомка протяжного об'єкту

При реалізації такої технології необхідно враховувати безліч чинників. Різна похила дальність і кут зйомки для рядків, що відповідають початку, середині і кінцю сцени (рис. 1.9), що призводить до відповідних відмінностей в розмірах проекції лінійки ПЗС на поверхні Землі.

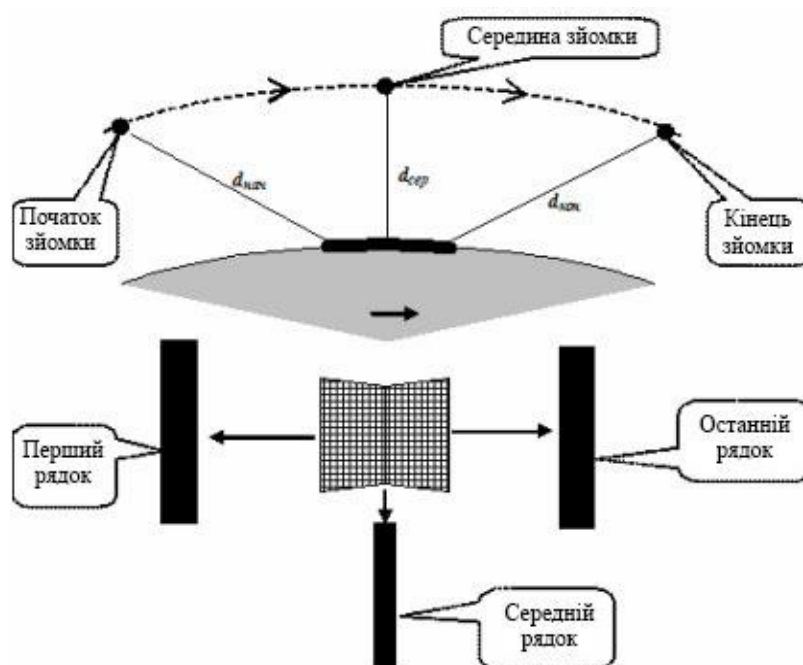


Рисунок 1.9 – Спотворення знімка через різної довжини проекції лінійки ПЗС на Землю

Режим зйомки з накопиченням пред'являє відповідні вимоги як до супутника в частині забезпечення необхідної переорієнтації КА в процесі зйомки і можливості роботи з різними частотами сканування по рядках, так і до програмних засобів.

Значне відхилення від надира на початку і наприкінці зйомки, необхідне при великих значеннях коефіцієнта накопичення (відношення часу зйомки з накопиченням до часу зйомки без накопичення), що призводить до необхідності врахування висоти рельєфу (рис. 1.10).

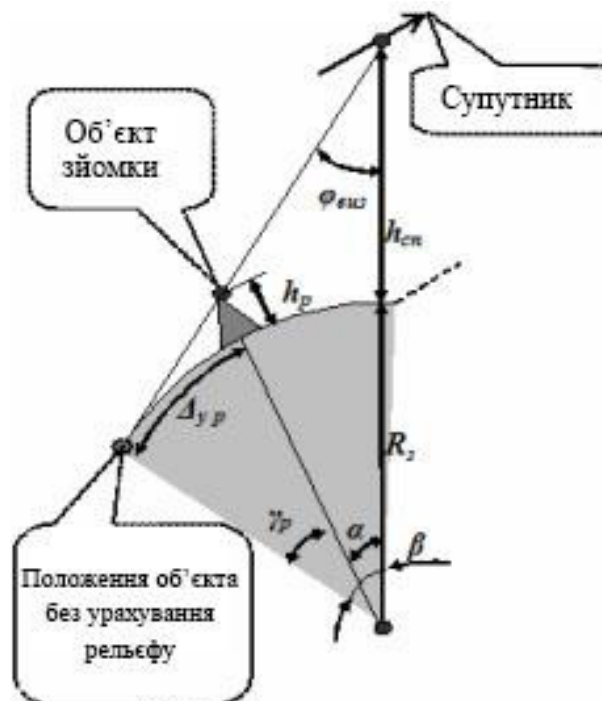


Рисунок 1.10 – Вплив висоти рельєфу на точність зйомки

На рисунку:

$\varphi_{\text{виз}}$  – кут візування;

$\alpha, \beta$  – геоцентричні кути;

$\gamma_p$  – кутова похибка;

$\Delta_{yp}$  – лінійна похибка.

Геоцентричні кути розраховуються за такими формулами:

$$\alpha = \arcsin \frac{(R_3 - h_{cn}) \sin \varphi_{виз}}{h + R_3} - \varphi_{виз}, \quad (1.1)$$

$$\beta = \arcsin \frac{(R_3 - h_{cn}) \sin \varphi_{виз}}{R_3} - \varphi_{виз}. \quad (1.2)$$

Сумарне відхилення від надира при перенацілюванні і накопиченні може досягати 30 градусів і більше, що призводить до необхідності додаткового обліку атмосферної рефракції (рис. 1.11).

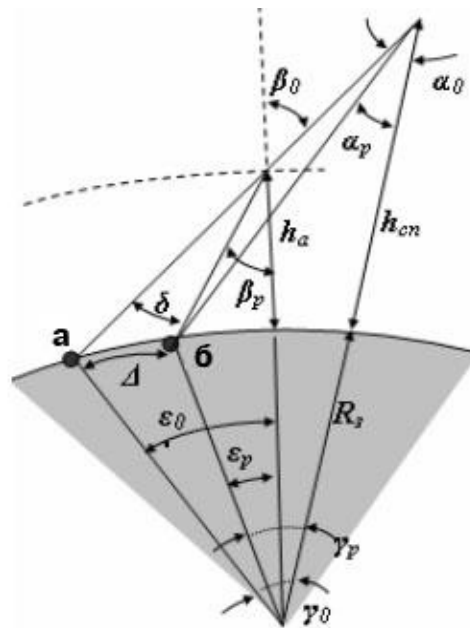


Рисунок 1.11 – Вплив атмосфери на якість знімка

На рисунку:

а – позірне становище візуються точки;

б – дійсний стан візуються точки;

$\Delta$  – лінійна похибка за рахунок рефракції;

$h_{cn}$  – висота супутника;

$h_a$  – ефективна висота атмосфер;

$\alpha_0$  – кут візування без урахування рефракції;

$\beta_0$  – зенітний кут входу вектора візування в атмосферу;

$\varepsilon_0$  – геоцентричний кут точки входу без урахування рефракції;

$\gamma_0$  – геоцентричний кут супутника без урахування рефракції;

$\delta$  – рефракційна поправка.

З огляду на вищесказане, при розробці методики зйомки з накопиченням повинна бути виконана оцінка впливу різних факторів: вплив похибок визначення орієнтації і розташування супутника, рельєфу місцевості, атмосферної рефракції та інші. На точності характеристики розрахункової моделі, в тому числі:

- на похибки визначення параметрів кутового руху супутника при плануванні зйомки;
- на точність визначення координат знятих ділянок в процесі моделювання зйомки і при виконанні географічної прив'язки супутникових знімків.

Крім того, повинні бути визначені діапазони допустимих кутів зйомки в залежності від висоти рельєфу, забудов і рослинності, які оточують об'єкт зйомки

Технічна реалізація режиму зйомки з накопиченням для перспективних КА ДЗЗ високої роздільної здатності може бути реалізована наступними шляхами:

- з використанням оптико-електронного сканера з однієї фіксованою частотою сканування по рядках і реалізацією режиму (коефіцієнт накопичення в діапазоні від 2 до 4);
- з використанням оптико-електронного сканера з кратними частотами сканування по рядках (коефіцієнт накопичення в діапазоні від 4 до 16);
- з використанням оптико-електронного сканера з «плаваючою» частотою сканування по рядках (коефіцієнт накопичення в діапазоні від 4 до 16).

Режим фіксації з накопиченням доцільно використовувати при кадрової зйомці (протяжність траси порівнянна з смугою захоплення), для тривалості сеансу зйомки до 5-10 с.

## 2 МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Під обробкою матеріалів дистанційного зондування мається на увазі послідовність операцій, спрямованих на отримання різних похідних продуктів. В залежності від їх призначення супутникові дані проходять різні стадії обробки.

В процесі отримання даних дистанційного зондування зустрічаються зображення зазнали спотворення перешкодами, які утворилися на етапі формування або передачі. Причинами, які вплинули на виникнення шуму на зображенні можуть бути несправність в каналах зв'язку, помилки в роботі пристрою реєстрації сигналу та інші. Супутникова зйомка є найбільш ефективним способом отримання даних, однак якість цих даних залежить не тільки від апаратної складової процесу ДЗ. В кінцевому результаті це призводить до погіршення якості візуального сприйняття і зниження вірогідності рішень, які будуть прийматися на основі аналізу таких зображень.

Для успішного вирішення завдань пошуку та ідентифікації об'єктів, визначення різного роду їх кількісних характеристик необхідно, щоб первинні зображення характеризувалися високим показником візуальної якості, який втрачається через незадовільні умови отримання зображень, недосконалість систем передачі інформації та її відображення.

Ослаблення дії перешкод досягається фільтрацією. Під фільтрацією зображень розуміють операцію, що має своїм результатом зображення того ж розміру, отримане з початкового за деякими правилами. При фільтрації робиться спроба реконструювати або відтворити зображення, яке було до цього спотворено, використовуючи апріорну інформацію про явище, яке викликало погіршення зображення. Тому методи фільтрації засновані на моделюванні процесів спотворення і застосуванні зворотних процедур для відтворення вихідного зображення. Цей підхід зазвичай включає розробку критеріїв якості, які дають можливість об'єктивно оцінити отриманий результат [9].

## 2.1 Методи розпізнавання

Завдання розпізнавання об'єктів на супутникових знімках є ключовим завданням в застосуванні автоматичної інтерпретації даних одержуваних від систем дистанційного зондування.

Розпізнавання об'єктів на зображенні передбачає використання структурної і спектральної інформації про зображення. Ключовим моментом, при розпізнаванні є набір ознак об'єктів і їх опис.

Для виділення об'єктів на досліджуваному зображенні, необхідно провести аналіз виділеної області на наявність ознак, характерних досліджуваному об'єкту. Чим більше ознак вдасться виявити, тим більша ймовірність успішної процедури розпізнавання.

Як зазначено в роботі [10], вимоги конкретного завдання дозволяють уникнути надмірності в описі образу, отже, спростити його аналіз при розпізнаванні. Це особливо важливо в тих випадках, коли при розпізнаванні доводиться обробляти великі обсяги даних, що характерно для задач тематичного дешифрування аерокосмічних знімків. Характеристики об'єкта, необхідні для вирішення конкретної задачі розпізнавання, називають ознаками. Часто в задачах розпізнавання доводиться виділяти кілька груп об'єктів певного типу. В цьому випадку необхідно використання ознак, що дозволяють відрізнити кожну групу від всіх інших. Такі групи в розпізнаванні прийнято називати класами [11]. В принципі, завдання може складатися у виділенні тільки одного класу, а все інше можна розглядати як клас «інше».

Тому в будь-якому випадку розпізнавання можна розглядати як задачу класифікації безлічі образів. з цієї точки зору будь-який алгоритм розпізнавання являє собою абстрактну систему, що складається з трьох множин:

- переліку виділених класів;
- набору ознак, що дозволяють відносити образи до того чи іншого класу з безлічі

– правил прийняття рішення при віднесенні образу до класу.

Перша і друга множина складають інформаційну компоненту системи розпізнавання і тісно взаємопов'язані. Залежно від того, як описані ознаки класів, можуть застосовуватися різні підходи до організації процесу розпізнавання. Основні такі підходи безпосередньо пов'язані з математичними методами опису множин:

– принцип порівняння з еталоном. Застосовується, коли клас описується одним або декількома еталонними образами, тобто безліч образів одного класу задається перерахуванням його елементів;

– принцип кластеризації. Відповідає способу завдання множин, системою обмежень за значеннями ознак. Кожному класу в цьому випадку зіставляються певні інтервали значень ознак;

– принцип спільності властивостей. Відповідає способу завдання множин породжує процедурою, яка і визначає в підсумку властивості образів, елементів даної множини згідно з [12].

### 2.1.1 Метод виділення контурів об'єктів на супутникових знімках.

Метод виділення контурів, запропонований в роботі [13] дозволяє отримати замкнутий контур з одиничним відгуком на кордон. Одним з безперечних переваг даного методу можна відзначити мінімум обчислювальних ресурсів для його реалізації.

Для подальшого застосування методу представимо  $g$ -розрядне цифрове зображення сукупністю з  $g$ -розрядних двійкових зображень, кожне з яких – двовимірна ланцюг Маркова з двома рівноймовірними станами.

Об'єднаємо в  $g$ -розрядному цифровому зображенні  $l$  старших  $g$ -розрядних двійкових зображень, для наочності візьмемо  $l=2$ . На рисунку 2.1 представлена група з двох старших  $g$ -розрядних двійкових зображень, восьми розрядного цифрового зображення, в кожному стовпці два бінарних елемента можуть приймати в сукупності чотири рівноймовірних станів.



Рисунок 2.1 – Група розрядних цифрових зображень з чотирма станами

Якщо  $g$ -розрядне двійкове зображення – двовимірний ланцюг Маркова з двома станами, то будемо вважати, що група розрядних цифрових зображень теж двовимірний ланцюг Маркова з вектором з  $N$  ймовірностей станів:

$$P = \|p_1, p_2, \dots, p_n\|^T. \quad (2.1)$$

І матрицями ймовірностей переходу з  $i$ -го стану в  $j$ -е за один крок, згідно з рівнянням:

$${}^1\Pi = \|{}^1\pi_{ij}\|_{N \times N}, \quad {}^2\Pi = \|{}^2\pi_{ij}\|_{N \times N}, \quad i \neq j. \quad (2.2)$$

Елементи матриці ймовірностей переходу задовольняють умові нормування:

$$\sum_{j=1}^N \pi_{ij} = 1, \quad i \in N, \quad q = \overline{1, 2}. \quad (2.3)$$

На даному етапі аналіз результатів показує, що запропонований метод дозволяє виділити контур, більш близький до еталонного.

А також умові стаціонарності:

$$p_i = \sum_{j=1}^N p_j \pi_{ij}, i \in N. \quad (2.4)$$

Для виділення контурів використовуються тільки старші 2-4 розряду цифрового зображення, об'єднані в ГРЦЗ. Дослідження показали, що для виділення замкнутого контуру 8-10 розрядного цифрового зображення досить два g-розрядних двійкових зображень, для 16-розрядних ЦЗ від двох до чотирьох g-розрядних двійкових зображень.

Основою методу є процедура передбачення елементів ГРЦЗ, що дозволяє видалити статистичну надмірність ЦЗ, при цьому всі «невірно передбачені» елементи дозволу складають контур об'єктів зображення.

На першому етапі для кольорового зображення виконується перетворення в YCbCr сімейство колірних просторів,  $l$  РДЗ яскравісної компоненти Y об'єднуються в ГРЦЗ. Для панхроматичного зображення об'єднуються в площину  $l$  старших РДЗ.

Потім для ГРЦЗ обчислюються МВП по горизонталі  $^1\Pi$  і  $^2\Pi$  вертикалі, відповідно. Виходячи з МВП  $^1\Pi$  і  $^2\Pi$  обчислюється МВП  $\Pi$ . На підставі отриманих даних прогнозується елемент  $\hat{M}_{ij}$  на основі МВП і околиці  $\Lambda_{ij}$ .

У разі якщо  $M_{ij} = \hat{M}_{ij}$ , то елемент передбачений вірно і замінюється значенням 0. Якщо ж  $M_{ij} \neq \hat{M}_{ij}$ , елемент передбачений невірно і замінюється значенням 1. На заключному етапі формується контур ЦЗ.

Для дослідження ефективності даного методу вибрано тестове зображення (рис. 2.2а) і створений еталонний контур (рис. 2.2б). Далі демонструються приклади виділення контурів із застосуванням стандартних методів.



Рисунок 2.2 – Приклади виділення контурів із застосуванням стандартних методів

На рисунку:

а – тестове зображення;

б – еталонний контур;

в – виділення контурів методом Канні;

г – виділення контурів методом Робертса;

д – виділення контурів методом Преввіта;

е – виділення контурів методом Собеля.

Далі демонструється застосування запропонованого методу за двома РДЗ на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Виділення контурів запропонованим методом

Для оцінки нерозривності виділеного контуру проведена його заливка. В якості тестового зображення взято фрагмент панхроматичного знімка (рис. 2.4а), виділені контури доріг з подальшою заливкою сірим кольором.

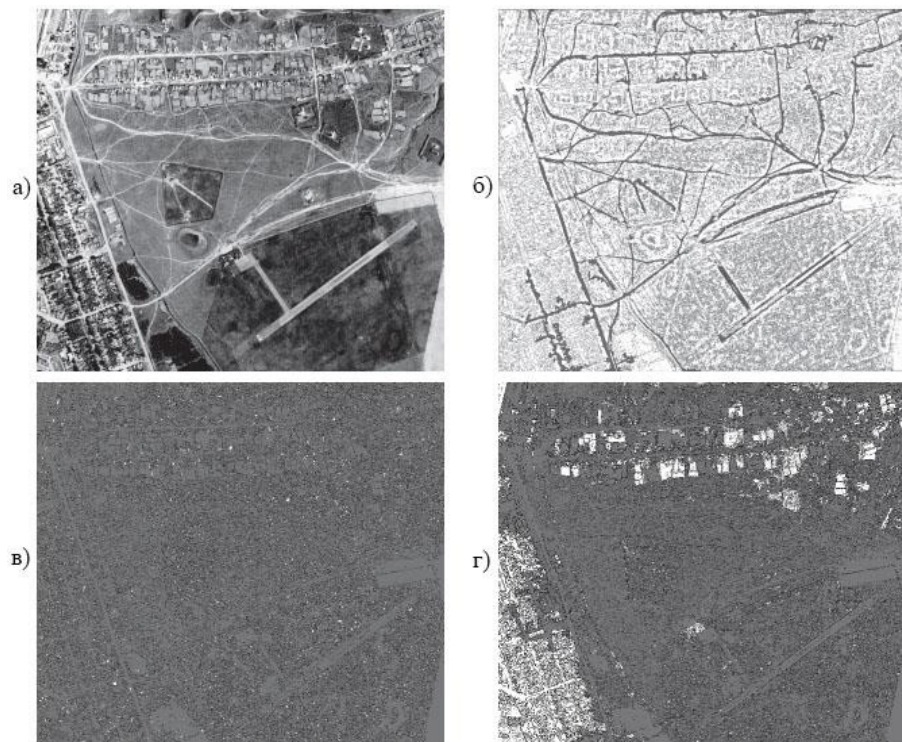


Рисунок 2.4 – Результат заливки контуру сірим кольором

На рисунку:

а – базове зображення;

б – запропонований метод;

в – метод Канні;

г – метод Собеля.

Отримані результати демонструють можливості даного методу і дозволяють зробити висновки щодо його застосування в області ДЗ. Даний метод дозволяє зробити виділення контурів об'єктів на цифрових зображеннях, який буде близький до еталонного, витрачаючи при цьому мінімум часу на процес обробки зображень.

Однак ефективність цього методу явно зменшується при роботі з зображеннями, які містять великий градієнт яскравості.

### 2.1.2 Алгоритм локалізації будівель заданої форми.

Даний алгоритм, який наведено в роботі [14] дозволяє виконувати пошук будівель будь-якої форми, необхідно, щоб ця форма була параметризована невеликою кількістю параметрів. Шуканий контур можна задати послідовністю точок з прив'язкою до деякого загального центру.

Для початку необхідно ввести основні позначення. Робота алгоритму демонструється на прикладі задачі локалізації будівель прямокутної форми. Позначимо прямокутник з центром в точці  $(x, y)$ , розміром  $w$  на  $h$  пікселів, повернений на кут  $\alpha$ , згідно формулі:

$$P = P_{w,h,\alpha}(x, y). \quad (2.5)$$

Скрізь буде передбачатися, що  $w \geq h$  з заданим кроком по кожному параметру:

$$\begin{cases} w \in [l_{\min}, l_{\max}], \\ h \in [l_{\min}, w] \\ \alpha \in [0, \pi], \end{cases} \quad (2.6)$$

Параметри  $l_{\min}$  і  $l_{\max}$  визначаються виходячи з вимог конкретного завдання, і при наявності апріорної інформації про розмір шуканих об'єктів можна значно скоротити перебір, тим самим зменшивши як час роботи, так і кількість помилкових спрацьовувань алгоритму. Кожен прямокутник розбивається на два безлічі:

$$P = \partial P \cup P^0, \quad (2.7)$$

де  $\partial P$  – межа прямокутника;

$P^0$  – внутрішня область.

Для розрахунку площі використовується вираз:

$$S(P) = S(\partial P) + S(P^0). \quad (2.8)$$

Позначення  $S(\partial P)$  відповідає довжині периметра  $P$ , оскільки ми працюємо з зображеннями, що складаються з дискретного набору пікселів, то довжиною периметра буде вважатися кількість пікселів граничного шару даного об'єкту.

Пошук прямокутних будівель з використанням перетворень Хафа на основі знайдених алгоритмом Канні контурів, призводить до нестійкого виявлення навіть строго прямокутних будівель через вибір кроку при переборі можливих розмірів прямокутників за формулою (2.6). Наприклад, якщо перебирати непарні довжини сторін, в той час як контур утворює прямокутник зі сторонами парної довжини.

Тому в даному алгоритмі будуть використовуватися не контури, а модулі градієнтів: по-перше, в них немає розривів, а по-друге, за рахунок того, що вони являють собою досить широку лінію, то через них завжди можна провести прямий відрізок, який буде стороною деякого прямокутника. Більш того, кожна точка буде голосувати за обраний прямокутник значенням модуля градієнта в

ній, що дозволить вибирати тільки ті контури, які відповідають найбільшому сумарному перепаду яскравості уздовж периметра прямокутника.

Алгоритми, що використовуються на даний момент, ґрунтуються на перетворенні Хафа для виявлення прямокутних контурів. Ґрунтуючись на значенні градієнтів яскравості створюється двовимірний масив для кожного набору параметрів  $(w, \alpha, h)$ , розмір яких відповідає розміру базового зображення, який відповідає точкам розташованим в центрі прямокутників із заданими параметрами. Далі будується результуючий акумуляторний масив шляхом вибору в кожній точці максимального з значень, побудованих на попередньому кроці акумуляторів.

Необхідність вибору локальних максимумів обумовлена тим, що реальні записи є шум і інші спотворення, і навіть один окремих будинок породжує не один контур, а цілу групу, як правило, близько десятка, згрупованих навколо його істинного центру.

Запропонований підхід має недоліком, який обмежує його застосування на реальних зображеннях в яких присутня велика кількість контурів, ці контури можуть утворювати прямокутну структуру і викликати помилкові спрацьовування алгоритму. Об'єктами, що викликають помилкові спрацьовування, можуть бути ділянки доріг, простір, розташований між прилеглих будинків та інші. Для зменшення кількості помилкових спрацьовувань, необхідно доповнити алгоритм даного методу наступними умовами: формою об'єкта, щільністю меж і середньою яскравістю. Ці умови дозволять відокремлювати контури, які не відповідають будовам, але мають близьку форму до прямокутної.

Перша умова враховує близькість форми розглянутих контурів до прямокутника. Використовувані для побудови акумуляторного масиву градієнти яскравості дозволяють не пропускати прямокутники навіть з розмитими межами. Однак, їх використання породжує хибні тривоги, пов'язані з прямокутних об'єктами, які завдяки широкій смузі градієнта, будуть давати значний внесок в акумулятор.

Тому необхідний більш строгий облік форми виявленого перетворенням Хафа прямокутника  $P_{w,h,\alpha}$ , для чого будуть використовуватися контури, знайдені алгоритмом Канні. Щоб уникнути пропуску окремих точок контурів, які належать до цього прямокутника, але через шум виявляються зміщені щодо його периметра, будемо розглядати не тільки точки периметра прямокутника, а й їх околиця  $O(t)$ . Якщо в  $O(t)$  є хоч одна точка контуру, то вважаємо, що в точці  $t$  периметра є контур. Для цього визначимо наступне одномірне зображення на точках периметра прямокутника  $\partial P_{w,h,\alpha}$ :

$$F(t) = \max_{v \in O(t)} \text{Canny}(v). \quad (2.9)$$

Далі до зображення  $F$  послідовно застосовуються операції ерозії:

$$F'(t) = (F \ominus Q_q)(t) = \min_{v \in Q_q(t)} F(v). \quad (2.10)$$

І дилатації:

$$F'' = (F' \oplus Q_q)(t) = \max_{v \in Q_q(t)} F'(v). \quad (2.11)$$

де  $Q_q$  – одновимірний структуруючий елемент.

Після цього розраховується сума значень функції:

$$\sum_{t \in \partial P_{w,h,\alpha}(x,y)} F''(t) \geq \frac{S(\partial P_{w,h,\alpha})}{2}. \quad (2.12)$$

Друга умова – щільність кордонів. При роботі алгоритму, заснованого на контурному аналізі, значну частину помилок породжують складно текстуровані області, що містять велику кількість кордонів всіляких напрямків. У таких

областях до третини точок можуть бути відзначені алгоритмом Канні, які містять контур, і отже в них можна знайти велику кількість помилкових прямокутників. Цю умову можна записати в такий спосіб:

$$\sum_{t \in P_{w,h,\alpha}(x,y)^0} Canny(t) \leq \frac{S(P_{w,h,\alpha}^0)}{20}. \quad (2.13)$$

Третя умова – особливістю супутникових знімків є велика кількість контурів в областях рослинності, що може породжувати значну кількість помилкових спрацювань.

Узагальнена схема пропонованого алгоритму складається з наступних кроків:

- згладжування вхідного зображення, обчислення градієнтів яскравості оператором Собеля і пошук контурів алгоритмом Канні;

- формування акумуляторного масиву для кожного набору параметрів  $(w, \alpha, h)$  з обраного діапазону значень за допомогою процедури голосування точок градієнтів яскравості зображень з умовою збігу форми. Потім отримані акумуляторні масиви об'єднуються операцією поточечного максимуму зі збереженням набору параметрів, на якому цей максимум досягається;

- в результуючому акумуляторному масиві відкидаються точки, що не відповідають умовам щільності меж і середньої яскравості. Серед решти розшуковуються локальні максимуми по околиці розміром з велику сторону прямокутника, які передаються на вихід алгоритму.

Приклад роботи демонструється на рисунку 2.5. Яскравість відповідає значенню акумулятора, чим вона вища, тим більше точок контурів вхідного зображення проголосували за прямокутник з центром в цій точці.

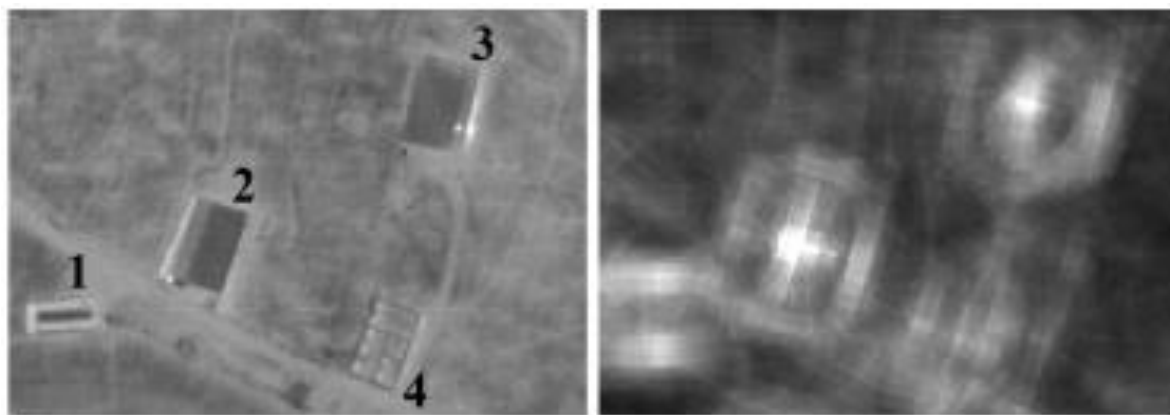


Рисунок 2.5 – Демонстрація роботи алгоритму

Можна бачити, що дві прямокутних будови утворили в акумуляторному масиві два виражених локальних максимуму, відповідні центрам будівель. Об'єкт під номером один утворив дві розмиті смуги через свою ширину, яка виявилася меншою розглянутих параметрів фігур. Крім цього, облік однорідності яскравості всередині розглянутого прямокутника дозволив відкинути прямокутний об'єкт чотири, який не є будовою.

### 2.1.3 Метод обробки інформаційних зображень в системах моніторингу.

Існуючі методи розпізнавання об'єктів на аерокосмічних знімках мають значну обчислювальну складність і передбачають наявність еталонної бази із зображеннями об'єктів, знятими під різними ракурсами і в різних положеннях, що вимагає наявності додаткових обчислювальних ресурсів і збільшує час пошуку об'єктів в базі.

Тому в роботі [15] пропонується замість еталонної бази шуканих об'єктів, сформувати базу параметрів шуканих об'єктів, які враховують колірні і геометричні властивості об'єктів. Пошук об'єктів на зображенні за заданими параметрами є стійким до зміни положення об'єкту на зображенні, що виключає необхідність «перебору» еталонів об'єктів у базі. Запропонований метод локалізації інформативних областей зображень є сукупністю операцій обробки цифрового статичного зображення, отриманого в результаті аерофотознімання (рис. 2.6).

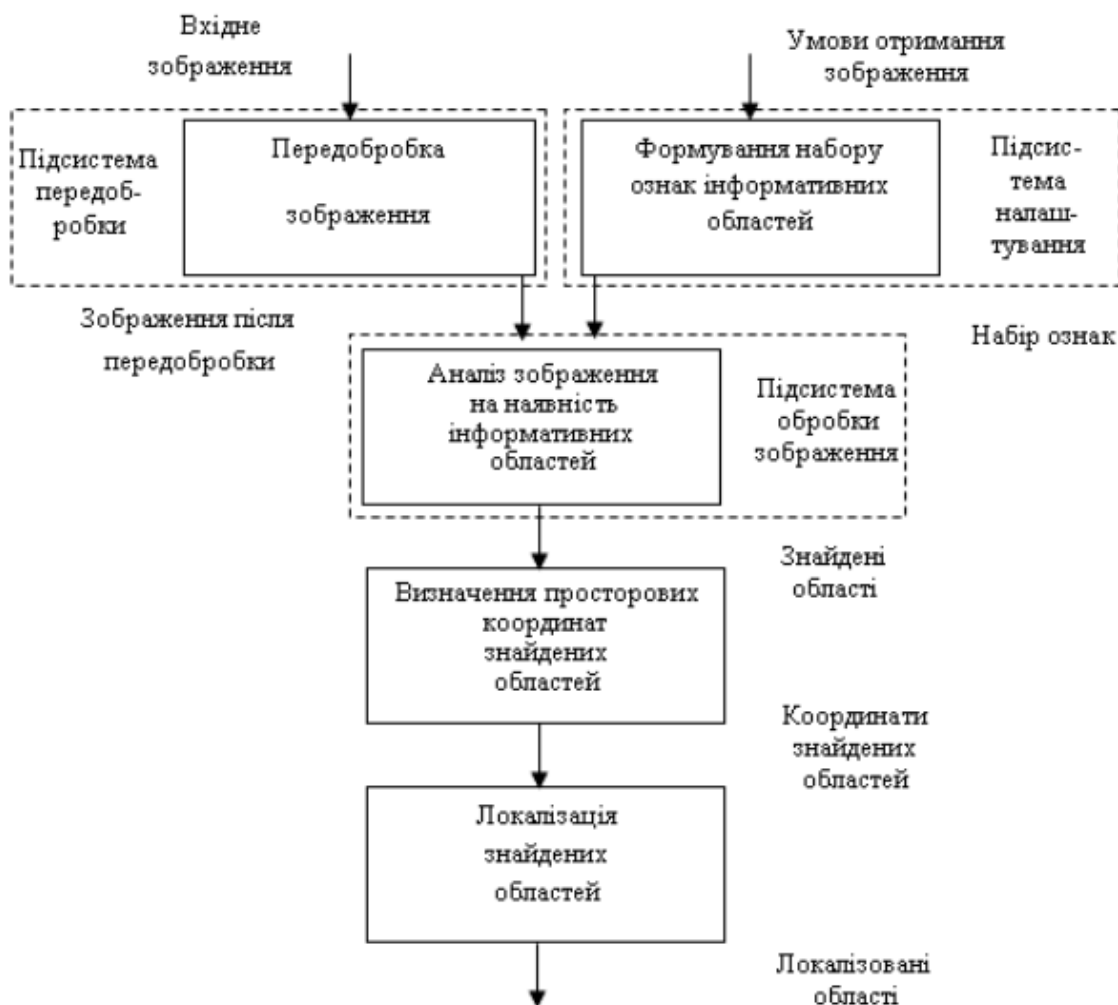


Рисунок 2.6 – Метод локалізації інформативних областей зображення

Вхідними параметрами є аерофотознімок, апріорні відомості про об'єкти, які необхідно виявити, та Процес обробки зображення здійснюється таким чином. Оператор аналізує навігаційно-технічні і метеорологічні умови зйомки і вибирає алгоритми для попередньої обробки зображення. Вхідне зображення завантажується в систему попередньої обробки зображень, яка призначена для реалізації алгоритмів підвищення якості вхідного зображення. Паралельно відносно процесу попередньої обробки в підсистему налаштування параметрів пошуку вводяться параметри умов зйомки і формується набір ознак шуканої області з урахуванням класу заданих об'єктів пошуку і умов зйомки. Зображення після попередньої обробки і набір ознак шуканої області завантажуються в підсистему обробки зображень. Обробка зображення

відбувається за участю оператора. Оператор вибирає алгоритм пошуку областей за інтенсивністю пікселів, задає чисельні значення ознак інформативних областей, приймає рішення про зупинку процесу пошуку і переходу до етапу локалізації знайдених областей.

Після обробки зображення здійснюється виведення координат знайдених областей і локалізує їх.

Далі приймається рішення про достовірність локалізованих областей і отримані дані передаються на наземний пункт обробки інформації.

Підсистема попередньої обробки зображення складається з декількох програмних модулів, робота яких регулюється оператором системи. Процес попередньої обробки зображення здійснюється у декілька етапів. На першому етапі вхідне зображення перевіряється на відповідність вимогам, що пред'являються до оброблюваних в системі зображень. Далі будується піраміда зображення. На третьому і четвертому етапах зображення піддається медіанній фільтрації і підвищенню різкості (рис. 2.7).

Процес обробки зображень можна представити у вигляді п'яти рівнів. При цьому використані наступні позначення:

- вхідне зображення,  $P(x, y)$ ;
- вхідне зображення після попередньої обробки,  $P_{обр}(x, y)$ ;
- оператор попередньої обробки,  $f(\cdot)$ ;
- оператор перегляду дискретного простору зображення,  $u(P_{обр}(x, y))$ ;
- набір ознак інформативних ознак зображення  $H_v$ ;
- кількість інформативних областей зображення,  $v$ ;
- інформативні області зображення,  $A_v$ ;
- сукупність рішень, прийнятих оператором,  $K_g$ ;
- множина координат знайдених областей,  $(i, j)_A$ .

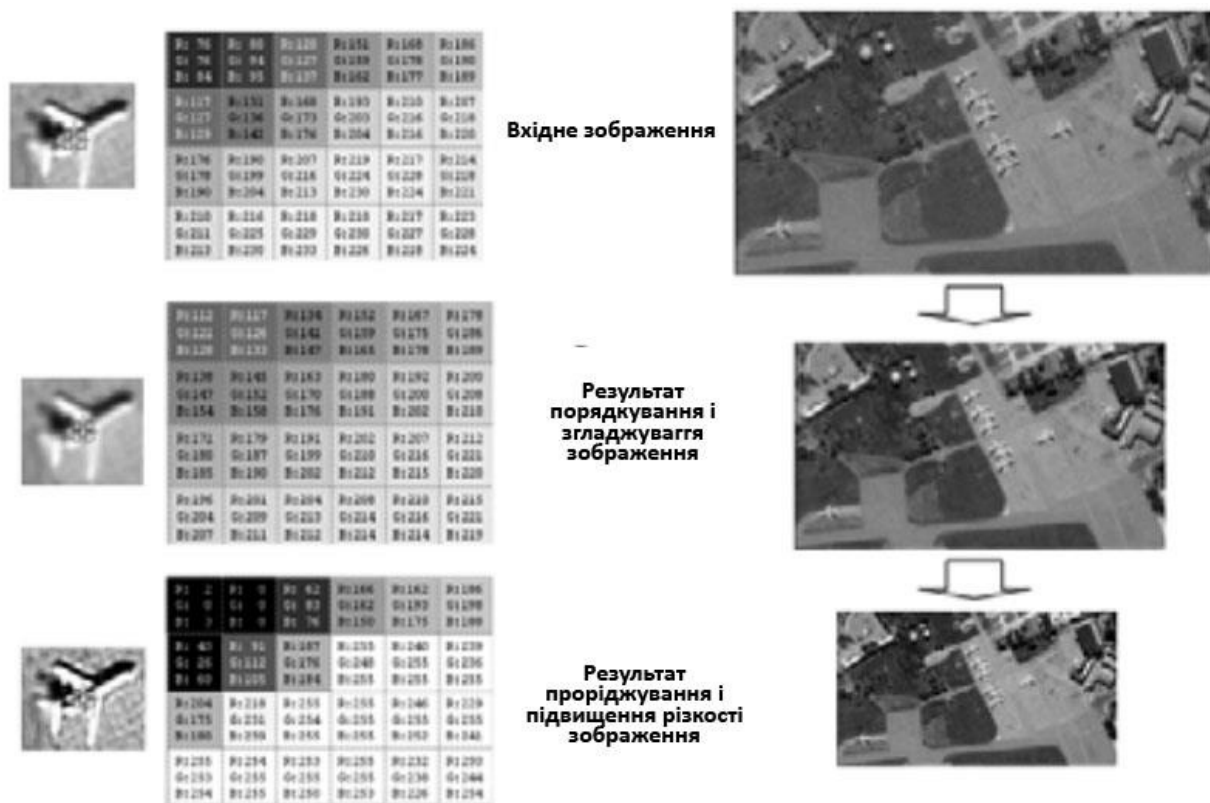


Рисунок 2.7 – Візуалізація процесів попередньої обробки зображення

Після попередньої обробки отримане зображення поступає в підсистему обробки зображення. У підсистемі налаштування параметрів формується набір ознак пошуку інформативних областей. Підсистема налаштування параметрів складається з двох підсистем:

- довідкової підсистеми;
- підсистеми моделювання.

Параметри шуканого об'єкту на зображенні є ознаками пошуку інформативної області. Для визначення значень набору ознак інформативної області в довідковій системі беруться значення параметрів «реального» об'єкту і в підсистемі моделювання перераховуються з урахуванням навігаційно технічних і метеорологічних умов отримання зображення. Під «реальним» розуміється зображення об'єкту, який знаходиться на території ділянки поверхні землі, що знімається.

Проведений ряд експериментів вибору ознак об'єктів для локалізації областей показали, що кількість ознак впливає не лише на точність виявлення, але і на величину помилки виявлення неправдивих об'єктів замість шуканих. Залежно від застосування кількості вибраних ознак помилка виявлення неправдивих областей складає при пошуку областей тільки по значеннях інтенсивностей – 20%, при пошуку по інтенсивності і площі – 16%, при пошуку по інтенсивності, площі і діаметру – 6%, при пошуку за усіма чотирма ознаками – 2%. Це дозволило зробити висновок, що запропонований в роботі набір ознак дозволяє вирішувати задачу локалізації областей з мінімальною помилкою виявлення хибних об'єктів. Алгоритм локалізації інформативних областей зображення в системі обробки складається з таких кроків:

- введення зображення в підсистему обробки з підсистеми передобробки і набору ознак з підсистеми налаштування параметрів.

- пошук на зображенні великих кількостей пікселів заданої інтенсивності. Результатом є зображення з множиною вибраних пікселів. Якщо множина пікселів є присутньою на зображенні – перехід до кроку 5. Якщо на зображенні немає множин пікселів із заданими значеннями кольору – вихід з алгоритму. Пошук завершений. В цьому випадку перехід до аналізу нового зображення або корекція значень набору ознак.

- перевірка знайденої множини пікселів за властивістю зв'язаності;
- виведення зображення із зв'язаною множиною пікселів – областями зображення;

- видалення дрібних (незв'язаних) областей зображення, значення площі яких лежать в діапазоні 1-10 пікселів;

- нарощування областей;
- пошук областей зображення, значення площі яких задовольняють заданому діапазону значень. Якщо інформативні області знайдені – виведення зображення з областями, значення площі яких потрапляють в заданий діапазон значень площі. Перехід до кроку 8. Якщо області не знайдені, перехід до кроку 9;

– перевірка знайдених областей по значеннях еквівалентних діаметрів, чи потрапляють значення діаметрів областей, знайдених на кроці 7, в заданий діапазон значень діаметрів. Области із заданим значенням діаметрів виводяться в окреме вікно. Перехід до кроку 10. Якщо областей немає, перехід до кроку 11.

– пошук областей по значеннях еквівалентних діаметрів. Якщо області знайдені – виведення зображення з областями, значення діаметрів яких потрапляють в заданий діапазон значень. Перехід до кроку 10. Якщо інформативні області не знайдені, перехід до кроку 11;

– перевірка знайдених областей по значеннях коефіцієнтів заповнення. Виведення знайдених областей. Перехід до кроку 12. Якщо областей немає, перехід до кроку 14;

– пошук інформативних областей по значеннях коефіцієнтів заповнення. Якщо області знайдені – виведення зображення з областями, значення коефіцієнтів заповнення яких потрапляють в заданий діапазон ознак;

– локалізація знайдених областей.

На рисунку 2.8 демонструється вихідне зображення.

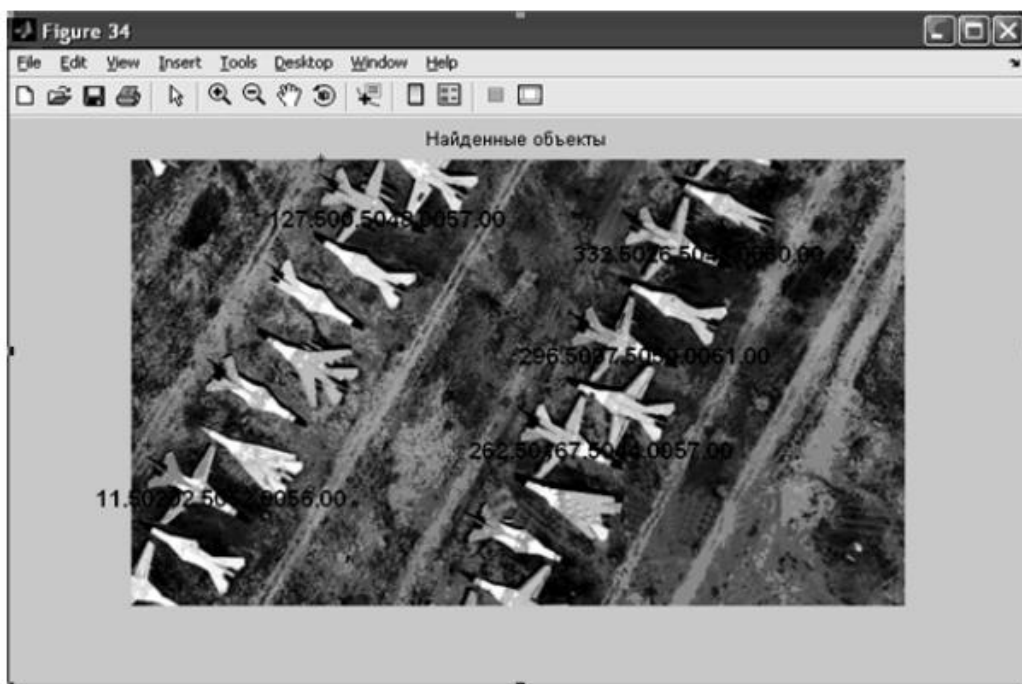


Рисунок 2.8 – Початкове зображення зі знайденими об'єктами

На рисунку 2.9 демонструється результат роботи методу локалізації інформативних областей зображень.

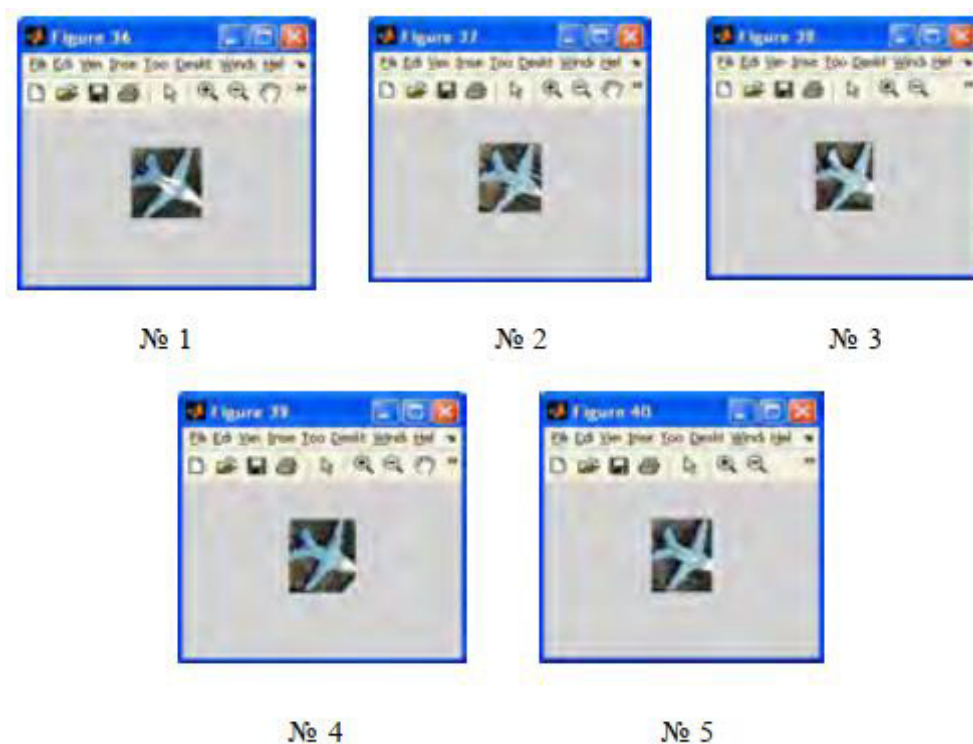


Рисунок 2.9 – Локалізація області, що містять шукані об'єкти-літаки

Застосування автоматизованного методу локалізації інформативних областей зображення приведе до підвищення оперативності обробки даних оптичного моніторингу. В таблиці 2.1 наведені координати та розміри знайдених областей.

Таблиця 2.1 – Координати і розміри знайдених областей

№ області	Координата X	Координата Y	Висота області	Ширина області
1	11.50	202.50	52	56
2	127.50	0.50	48	57
3	262.50	167.50	44	57
4	296.50	97.50	50	61
5	332.50	26.50	45	50

## 2.2 Фільтрація шумової складової

Однією з основних задач цифрової обробки зображень, отриманих за допомогою систем дистанційного зондування Землі, є виявлення пікселів, спотворених шумовою складовою і відновлення їх значень.

Для максимальної ефективності процесу добування інформації з супутникових знімків, необхідно усунути в них спотворення. Найчастіше шумозаглушення служить для поліпшення візуального сприйняття, але може також використовуватися для якихось спеціалізованих цілей. Необхідність в придушенні шумової складової виникає в разі, якщо рівень шуму істотно погіршує якість зображення і заважає вилучення корисної інформації. Для вибору правильного методу подавлення шуму важливо виконати аналіз його структури. У деяких випадках можуть існувати калібрувальні дані або еталонне зображення, за допомогою яких можна оцінити параметри шуму. Важливо мати способи оцінювання шуму по вихідному знімку, відзначено в роботі [16].

У деяких методах фільтрації при цьому використовуються локальні дані з оточення пікселя, в інших – інформація про всі елементи зображення. До першої групи перетворень, званих просторової фільтрацією, відносяться перетворення, засновані на операції згортки. До другої групи перетворень, званих частотної фільтрацією, відносяться перетворення, засновані на перетворенні Фур'є. Проте і просторова, і частотна фільтрація дозволяє вирішити завдання як перетворення зображення, так і зменшення рівня його зашумленості. Просторова фільтрація реалізується за допомогою підсумовування із заданими вагами елементів зображення в межах переміщається по ньому вікна для розрахунку значення центрального пікселя формованого нового зображення.

Також шумозаглушення грає важливу роль при стисненні зображень [17]. При стисненні сильний шум може бути прийнятий за деталі зображення, і це може негативно вплинути на результуючу якість стисненого зображення.

Причини появи шумової складової на зображенні можуть бути різні:

- недосконале обладнання для захоплення зображень;
- умови зйомки;
- перешкоди при передачі по каналах зв'язку
- наведення від джерел електромагнітних полів, власні шуми активних компонентів лінії передачі.

### 2.2.1 Моделі шуму.

Шумова складова сигналу визначається як частина вихідного сигналу, що не несе в собі корисної інформації про сцену зйомки. Для виконання фільтрації застосовують імовірнісні моделі зображення і перешкоди, і використовують статистичні критерії.

Через існування різноманітних форм шуму його складно промодельовати, і тому різні методи зменшення шуму дуже часто орієнтовані на якісь окремі випадки. У зв'язку з цим було б корисно класифікувати шум на кілька категорій і запропонувати кожній з них наочну модель

Види шумів, розглянуті в даному розділі і законів їх розподілу, дають набір засобів моделювання реальних природних шумів. Наприклад, Гаусів шум зустрічається в електромагнітних ланцюгах, розподіл Релея зустрічається на фотознімках, шум Ерланга можна спостерігати на знімках, отриманих за допомогою засобів лазерної та радіолокаційної розвідки.

#### 2.2.1.1 Гаусів шум.

Математична простота, характерна для роботи з моделями гаусового шуму як в просторовій, так і в частотній області, зумовила широке поширення цих моделей на практиці. Насправді ця простота виявляється настільки привабливою, що найчастіше гаусові моделі використовуються навіть в тих ситуаціях, коли їх застосування виправдане в кращому випадку лише частково.

Функція щільності розподілу ймовірностей гаусом випадкової величини  $z$  задається виразом:

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}. \quad (2.14)$$

Графік цієї функції представлено на рисунку 2.10. Коли щільність розподілу випадкової величини  $z$  описується функцією (2.14), тоді приблизно 70 % її значень підпадають в діапазон  $\mu - \sigma, \mu + \sigma$ , і приблизно 95 % – в діапазон  $\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma$ .

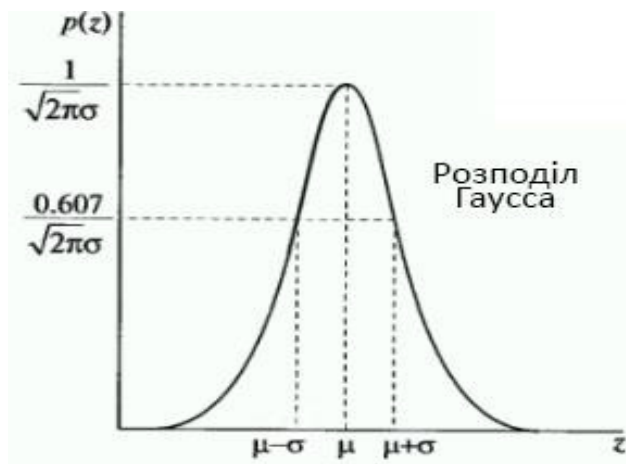


Рисунок 2.10 – Графік щільності розподілу ймовірності шуму Гаусса

### 2.2.1.2 Шум Релея.

Функція щільності розподілу ймовірності шуму Релея задається виразом:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b}, & z \geq a \\ 0 & , z < a \end{cases}, \quad (2.15)$$

Дисперсія для цього розподілу має вигляд:

$$\mu = a + \sqrt{\pi b / 4}. \quad (2.16)$$

Графік щільності розподілу показано на рисунку 2.11.

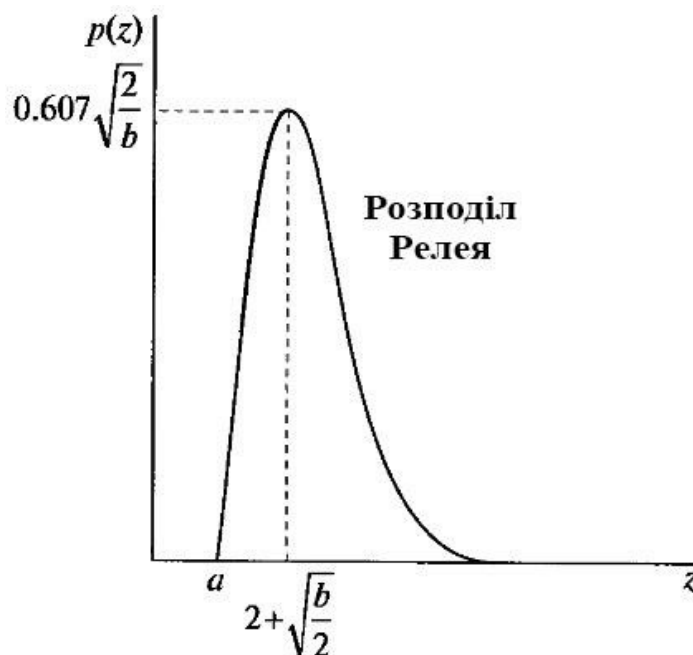


Рисунок 2.11 – Графік щільності розподілу ймовірності шуму Релея

### 2.2.1.3 Імпульсний шум.

Процес формування імпульсного шуму полягає в тому, що значення яскравості кожної точки зображення відповідно до виразу (2.17), замінюється на значення шуму.

$$P_s = P_a + P_b \leq 1. \quad (2.17)$$

При цьому яскравість пікселів визначається двома позитивними числами  $P_a$  і  $P_b$ . Яскравість кожного пікселя з ймовірністю  $P_a$  замінюється на значення  $a$ , з ймовірністю  $P_b$  – на значення  $b$ . Щільність розподілу ймовірності може бути записана з використанням дельта функції Дірака у вигляді:

$$p(z) = P_a \delta(z - a) + P_b \delta(z - b). \quad (2.18)$$

Якщо  $b > a$ , тоді піксель зі значенням яскравості  $b$  має вигляд світлої точки на зображенні. Піксель з яскравістю  $a$  має вигляд, навпаки, як темна крапка. Якщо одне із значень ймовірності  $P_a$  або  $P_b$  дорівнює нулю, то

імпульсний шум називається уніполярним. Якщо жодна з ймовірностей не дорівнює нулю, імпульсний шум схожий на крупичі солі і перцю, розсипані по зображенню.

При оцифровці зображення зазвичай відбувається обмеження значень яскравості. Тому зазвичай вважають, що значення  $a$  і  $b$  рівні мінімального і максимального значень, які в принципі можуть бути присутніми в оцифрованому зображенні. Для восьми бітових зображень це означає, що  $a=0$ ,  $b=255$  як зазначено в [18]. Графік розподілу ймовірності значень імпульсного шуму представлений на наступному рисунку 2.12.

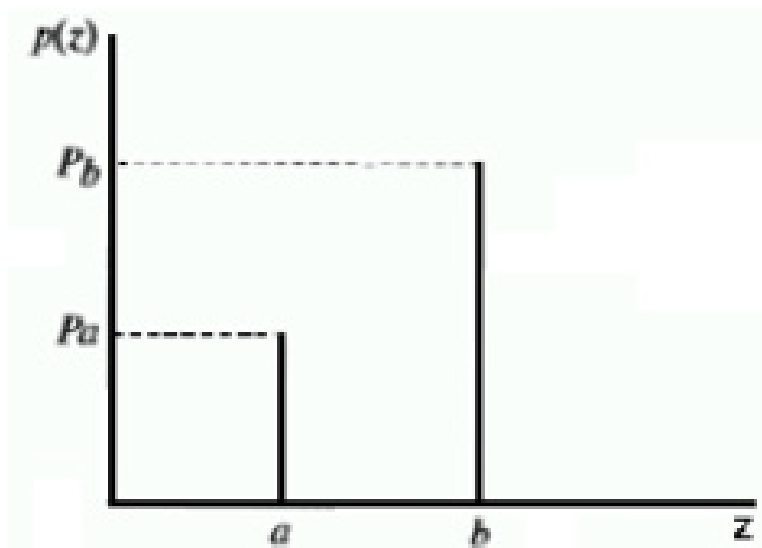


Рисунок 2.12 – Графік розподілу ймовірностей імпульсного шуму

### 2.2.2 Побудова статистичних методів виключення спостережень.

В роботі [19] запропоновані на основі використання статистичних критеріїв виключення одиночних і групових екстремальних спостережень, відповідні їм методи і описані особливості їх застосування.

Припустимо, що результати  $n$  спостережень (значень яскравості в заданій околиці дії фільтра) представляються безліччю точок:

$$X = \{x_{\xi}\}_{\xi=1, \dots, n} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.19)$$

Висунемо гіпотезу  $H$  про те, що серед них присутні екстремальні спостереження, які необхідно виключити з спостереження (2.19) як нетипові.

При малих варіаціях яскравості пікселів однорідної околиці наближено покладається, що розподіл яскравості в такій околиці описується нормальним законом розподілу.

Для виключення одиночних нетипових екстремальних спостережень в даний час використовується  $k \cdot \sigma$ -критерій, алгоритм застосування якого полягає в наступному.

Критерій винятку нетипового максимального спостереження  $x_n$ . На першому кроці спостереження (2.19) упорядковуються по зростанню, таким чином, щоб виконувалося відношення порядку

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n. \quad (2.20)$$

Далі для ряду (2.20) оцінюється значення математичного очікування  $m$  і дисперсії  $\sigma^2$ :

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.21)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2. \quad (2.22)$$

Потім виконується перевірка максимального значення  $x_n$  ряду (2.20) на екстремальність. Так, якщо виконується умова:

$$(x_n - m) > k \cdot \sigma, \quad (2.23)$$

Тоді вважається, що гіпотеза  $H$  підтвердилась:

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_n - m) > k \cdot \sigma, \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (2.24)$$

І спостереження  $x_n$  необхідно виключити із виразу (2.20) як нетипове.

Для виключення одиноких нетипових екстремальних спостережень в якості альтернативи  $k \cdot \sigma$ -критерію в даний час застосовується критерій Граббса, алгоритм якого складається з наступного.

Критерій виключення нетипового максимального спостереження  $x_n$ .

Перший і другий критерій такий самий, як і для  $k \cdot \sigma$ -критерію. На третьому кроці знаходиться статистика:

$$T_n = \frac{x_n - m}{\sigma}, \quad (2.25)$$

Для заданого рівня значимості  $\alpha$  – порогове значення величини  $T_{n,\alpha}$ . Якщо при цьому виконується умова:

$$T_1 > T_{n,\alpha}, \quad (2.26)$$

Тоді гіпотеза  $H$ , що перевірялася – приймається:

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } (T_1 > T_{n,\alpha}), \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (2.27)$$

Вважається, що на рівні значущості  $\alpha$  спостереження  $x_1$  в (2.20) є екстремальним, і його доцільно виключити як помилкове.

При великій кількості спостережень замість  $k \cdot \sigma$ -критерію і Gr-критерію для виявлення групи екстремальних спостережень обсягом  $s$  може бути доцільно застосовувати критерій Тітьєна-Мура (ТМ-критерій), так як

послідовне застосування  $k \cdot \sigma$ -критерію або Gr-критерію може бути дуже трудомістким, і / або може не давати адекватного результату.

Використання описаних вище статистичних критеріїв і методів виключення екстремальних спостережень дозволяє вирішити проблему неадекватного згладжування шуму, особливо актуальну для кордонів зображень об'єктів і об'єктів лінійного виду. Однак застосовувати ці критерії і методи, в тому числі, для мінімізації загальної трудомісткості фільтрації шуму, має сенс вибірково, лише для неоднорідних фрагментів вхідного зображення, що відповідають значимо зачумленої нутроші зображень, кордонів зображень і об'єктів лінійного виду.

Для фільтрації шуму в даний час частіше застосовується маска фільтра розмірністю  $3 \times 3$ , рідше – маска фільтра розмірністю  $5 \times 5$ .

У зв'язку з необхідністю сортування ряду (2.19) для побудови упорядкованого ряду (2.20) трудомісткість застосування описаних вище критеріїв і методів по порядку величини оцінюється величиною:

$$T(n) = n^2. \quad (2.28)$$

Операцій порівняння, оскільки для сортування вибірок малого розміру найчастіше використовується бульбашкове сортування.

В даний час лише трудомісткість застосування медіанного фільтра оцінюється величиною виразу (2.28) операцій порівняння в зв'язку з необхідністю сортування ряду (2.19). Трудомісткість застосування більшості просторових фільтрів шуму оцінюється величиною:

$$T(n) = k \cdot n. \quad (2.29)$$

Отже, невибіркоче застосування описаних вище критеріїв і методів може до одного разу збільшувати трудомісткість фільтрації шуму.

Таким чином, для можливості ефективного застосування критеріїв і методів виключення екстремальних спостережень актуальною є розробка ефективного критерію ідентифікації неоднорідних околиць вхідного зображення.

Для виявлення неоднорідної околиці вхідного зображення пропонується наступний критерій ідентифікації.

Отримаємо розподіл (2.19) для дисперсії  $x_i = \sigma_i$  у всіх положеннях маски фільтра на зображенні. Знайдемо оцінки математичного очікування  $m_\sigma$  і дисперсії  $s_\sigma^2$  ряду (2.19). Будемо вважати, що значення дисперсії значно умилюється від середнього, якщо виконується умова:

$$(x_i - m_\sigma) > k_\sigma \cdot s_\sigma. \quad (2.30)$$

Відповідно, при фільтрації шуму неоднорідними будемо вважати тільки таке оточення, для яких виконується критерій (2.30). Інакше будемо вважати, що розподіл яскравості в оточенні дії фільтра є однорідним.

Для підсилення дисперсії такого оточення, в центрі  $d(\xi, \eta)$ , якої спостерігається імпульсний шум, дисперсія може оцінюватися як:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_j)^2, i \neq j, \quad (2.31)$$

де  $x_j$  – яскравість пікселя  $d(\xi, \eta)$ .

Застосування критерію (2.30) призведе до ідентифікації оточення з імпульсним шумом, а також оточення із середнім високим рівнем зашумлення і оточення зі значним перепадом яскравості, розташованих на кордоні об'єкта з фоном. Уже в подальшому необхідно буде класифікувати тип оточення, ідентифікованої за критерієм (2.30), з метою прийняття адекватного рішення про застосування того, чи іншого методу фільтрації в цьому оточенні.

При вирішенні більшості практичних задач, число положень маски фільтра з неоднорідним розподілом яскравості, ідентифікованих за критерієм (2.30), мінімум на два порядки менше числа положень маски з однорідним розподілом яскравості. Застосування критерію (2.30) для одного положення маски фільтра вимагає своєю чергою величини операцій порівняння за виразом (2.28). В таких умовах трудомісткість застосування статистичних методів виключення екстремальних спостережень за порядком величини буде зменшена з рівня виразу (2.28) до рівня:

$$T(n) = \frac{2 \cdot n + n^2}{100}. \quad (2.32)$$

Для маски 3x3,  $n = 9$ , середня оцінка трудомісткості розподілу яскравості, згідно формулі (2.32) для одного положення маски складе величину:

$$T(9) = 2 \cdot 9 + 0,81 = 18 - 0,81.$$

Для маски 5x5,  $n = 25$ , буде дорівнювати наступне число операцій порівняння:

$$T(25) = 2 \cdot 25 + 6,25 = 50 - 6,25.$$

Таким чином, середня трудомісткість застосування статистичного методу виключення екстремальних спостережень після застосування критерію (2.30) для одного положення маски фільтра потребує по порядку величини  $2 \cdot n$ .

Хоча  $k \cdot \sigma$ -критерій введений для нормально розподіленої випадкової величини, тим не менш, в явному вигляді він не оперує величинами, що оцінюються на основі використання нормального закону розподілу. В цьому відношенні за рахунок налаштування параметра  $k$ ,  $k \cdot \sigma$ -критерій може бути відносно легко налаштований на аналіз випадкової величини, що не

підкоряється нормальному закону розподілу. Цей аспект є важливим тому, що розподіл дисперсії  $x_i = \sigma_i$ , як показують проведені експериментальні дослідження, не завжди можна апроксимувати одностороннім нормальним законом  $N(m, \sigma)$  з високою довірчою ймовірністю. У багатьох випадках розподіл дисперсії  $\{\sigma_i\}_i$  з високою довірчою ймовірністю можна апроксимувати одностороннім експоненціальним законом  $E(\lambda)$ , законом Релея  $R(m, \sigma)$ , або композицією цих законів розподілу, наприклад<sup>^</sup>

$$H(m, \sigma, \lambda; \mu) = \mu \cdot N(m, \sigma) + (1 - \mu) \cdot E(\lambda). \quad (2.33)$$

Можливість адекватного використання і ефективність застосування  $k \cdot \sigma$  критерію в порівнянні з альтернативними критеріями може бути встановлена лише експериментально на етапі навчання за заданими критеріями адекватності та ефективності фільтрації.

### 2.2.3 Особливості оброблення космічних знімків.

Як зазначено в роботі [20], будь-яка зйомка – це реєстрація яскравості поверхні Землі в певному діапазоні спектра електромагнітних хвиль. Рівень яскравості або рівень відбитого світла від поверхні Землі на конкретному зображенні є цінною інформацією при аналізі складу мінералів або рослинності цієї поверхні. Прикладом аналізу зображень є витяг лінійних об'єктів, розробка просторової моделі обробки даних, переклад даних з одного формату в інший, отримання стереозображень, автоматичне вилучення географічних даних. Для розрахунку скоригованих значень яскравості використовується формула:

$$L = \left( \frac{Ap}{1 - p_e S} \right) + \left( \frac{Bp_e}{1 - p_e S} \right) + L_a, \quad (2.34)$$

де  $L$  – значення яскравості пікселя;

$p$  – коефіцієнт відбиття для пікселя;

$p_e$  – середній коефіцієнт відбиття пікселя і його найближчої області;

$L_a$  – яскравість розсіяна атмосферою назад;

$A$  і  $B$  – коефіцієнти, які залежать від атмосферних умов;

$S$  – сферичне альbedo атмосфери.

Значення  $A$ ,  $B$ ,  $S$ ,  $L_a$  залежать від моделі атмосфери, широти місцевості, пори року.

Дешифрування і аналіз супутникових знімків в даний час все більше виконується за допомогою автоматизованих програмних комплексів, таких як ERDAS Imagine або ENVI. Роздільна здатність знімків, отриманих оптико-електронними знімальними системами, визначається розміром елементу зображення, пікселя:

$$R = s\sqrt{2}, \quad (2.35)$$

де  $s$  – розмір пікселя в метрах.

Для обробки космічних знімків важлива їх прив'язка до об'єктів місцевості, що мають добрі дешифрувальні властивості. В якості розпізнавальних знаків, як правило, вибираються кути будинків, парканів, основи ліній електропередачі, кути асфальтованих (бетонних) площадок, які чітко проявляються на знімку. Потім вибирається робоча система координат, має значення, в якій системі відомі координати більшості опорних точок.

Потім слідує фотограмметрична обробка, де одним з ключових питань є кількість і розташування опорних точок, тому перший етап роботи повинен бути спрямований на визначення максимально можливої точності орієнтування та оптимізацію планово-висотного забезпечення. Далі виконується зовнішнє орієнтування (мінімальна кількість опорних точок – 9). На цьому етапі також відбувається оцінка геометричної точності і якості знімка. Геометрична точність перевіряється по помилках планового положення контрольних точок. Для фотограмметричної обробки сканерних космічних знімків використовують

строгі, універсальні і апроксимаційні моделі. Суть строгого методу полягає у відновленні зв'язки променів, які проєктуються на поверхню Землі і вирішенні колінеарних рівнянь:

$$x - x_0 = f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{12}(Y - Y_s) + a_{13}(Z - Z_s)}{a_{31}(X - X_s) + a_{32}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)}. \quad (2.36)$$

де  $x, y$  – координати точки на зображенні;

$f$  – фокусна відстань камери.

При цьому враховуються фізичні параметри: фокусна відстань, координати головної точки, розмір пікселя, положення камери в момент зйомки.

Рішення рівнянь (1) ускладнюється тим, що для кожної строки сканерного зображення параметри зовнішнього орієнтування  $X_s, Y_s, Z_s, \omega, \varphi, \kappa$  відмінні. Для їх розрахунку часто використовують поліноміальний алгоритм. Строгий метод дозволяє досягти максимальної точності.

Універсальні методи використовують стандартні математичні моделі – поліноміальні, паралельно-перспективні та ін. У розрахунок не приймаються додаткові дані про процес зйомки. Прикладом може служити метод раціональних функцій:

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)}, \quad (2.37)$$

$$P_1(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k, \quad (2.38)$$

Мінімальна кількість необхідних опорних точок ( $N$ ) буде залежати від ступеня поліномів і відповідно від кількості коефіцієнтів  $a_{ijk}$  ( $Q$ ) в поліномі  $P_1$ :

$$N = 2Q - 1. \quad (2.39)$$

Загальне визнання знайшла апроксимаційна модель на основі рівнянь компроміс між строгим і універсальним способом, в якій використовуються поліноми третього ступеня.

Коефіцієнти раціональних функцій  $a_{ijk}$  розраховуються по строгій моделі. Корегування (зрівняння) знімків з використанням коефіцієнтів раціональних функцій може виконуватися і без опорних точок, однак кілька опорних точок допоможуть усунути систематичні помилки (такі, як, наприклад, при зміні системи координат). Застосування строгого методу дозволяє досягти більш рівномірного корегування.

Якість фотограмметричної обробки зображень залежить від попередньої корекції та виду математичних моделей, що застосовуються для розрахунку параметрів орієнтування знімків. Відзначимо, що швидко розвиваючись технології дистанційного зондування все ширше використовуються для вирішення задач народного господарства, таких як: створення геоінформаційних систем земельних ресурсів різних рівнів, контроль за використанням земельних ресурсів, обстеження земель, вивчення і прогнозування несприятливих природних процесів та явищ. Реальністю стало отримання точної просторової інформації без збору наземних даних, що призводить до істотного скорочення фінансових і часових витрат, оптимізації господарської діяльності.

#### 2.2.4 Медіанний фільтр.

Медіанний фільтр часто застосовується в обробці комп'ютерних зображень, зокрема, для видалення стороннього шуму. Широка популярність медіанний фільтрів обумовлена тим, що вони добре пристосовані для зменшення деяких видів випадкових шумів і при цьому приводять до меншого розмивання в порівнянні з лінійними згладжуючими фільтрами того ж розміру. Медіанні фільтри особливо ефективні при наявності як біполярного, так і уніполярного імпульсного шуму. На практиці застосовують неадаптивні і

адаптивні медіанний фільтри. Результат застосування медіанного фільтра наведено на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Результат застосування медіанного фільтра

Метод медіанної фільтрації, демонструє добрі результати при видаленні імпульсного шуму на зображеннях. Принцип роботи полягає в упорядкуванні значень пікселів, що захоплюються маскою фільтра і подальшим вибором значення, яке розташовується на певній позиції, раніше впорядкованої послідовності. Медіанний фільтр розглядає кожен піксель по черзі і аналізує найближчі сусідні пікселі, щоб вирішити, чи є значення даного пікселя характерним для його оточення. Замість того, щоб просто замінити значення пікселя середнім значенням сусідніх пікселів, використовується медіана цих значень. Медіана розраховується шляхом сортування всіх значень пікселів з навколишнього області, згідно з формулою:

$$f(x, y) = \text{med}\{g(s, t)\}. \quad (2.40)$$

Важливою перевагою даного методу є швидкість проведення фільтрації і відносна простота реалізації алгоритму.

Додаткова перевага адаптивного медіанного фільтра полягає в тому, що такий фільтр зберігає деталі в областях, спотворення не імпульсним шумом, тоді як звичайний неадаптивний медіанний фільтр такою властивістю не володіє. Відмінність адаптивного медіанного фільтра від неадаптивного полягає в тому, що в процесі обробки він збільшує розміри околиці пікселя.

Серед недоліків медіанного фільтра слід зазначити, той факт, що на невеликому зображенні є ймовірність того, що можуть бути відфільтровані зайві значення, які не є шумом, а бути частиною іншої області зображення. Після фільтрації може проявитися змазування контурів і дрібних деталей. У даного методу слабка чутливість до особливостей розподілу яскравості пікселів на зображенні, особливо це проявляється, якщо відсутній чіткий поділ між світлими і темними областями. Всі ці фактори можуть негативно позначитися на процесі розпізнавання об'єктів.

#### 2.2.5 Метод серединної точки.

У методі серединної точки, значення кожного пікселя замінюється середнім значенням між максимальним і мінімальним значеннями в навколишній області. Більш велика область дає сильніший ефект. Вираз для застосування методу серединної точки має наступний вигляд:

$$f(x, y) = \frac{1}{2} [\max_{s,t \in S_{xy}} \{g(s, t)\} + \min_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}]. \quad (2.41)$$

Даний фільтр поєднує в собі методи усереднення та порядкових статистик. Результат застосування даного фільтра демонструється на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Результат застосування методу серединної точки

Цей фільтр добре демонструє свої можливості, при наявності випадково розподілених шумів, як гаусів і рівномірний. Однак, як можна спостерігати на рисунку 2.14, більша частина шумів залишилася, як на вихідному зображенні. Але застосування даного фільтра дає дуже розмите зображення, яке складно згодом обробляти.

#### 2.2.6 Сігма-фільтр.

Принцип дії сігма-фільтру полягає в поділі сигналу і шуму по контрастності, а для подальшого їх усереднення використовується ковзне вікно. При цьому у вікні виконується усереднення значення пікселів, що відрізняються від центрального пікселя  $DN_c$  не більше заданого значення  $\delta$  за формулою (2.42), що визначається в одиницях стандартного відхилення  $\sigma$ .

$$\delta = k\sigma. \quad (2.42)$$

В результаті діапазон значень, що беруть участь в усередненні, дорівнює наступній величині:

$$DN_c \pm k\sigma. \quad (2.43)$$

В даному методі фільтрації, опорним служить значення центрального пікселя в досліджуваній області, а не в впорядкованій вибірці. Якщо СКВ шуму має залежність від корисної складової сигналу, тоді процес фільтрації можна зробити адаптивним.

Результат застосування сігма-фільтра наведено на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Результат застосування сігма-фільтра

Перевагою цього фільтра є те, що при довільній кількості усереднює пікселів він може взагалі не зачіпати точкові об'єкти з високою чіткістю по відношенню до фону. У той же час лінійні об'єкти на зображенні зберігаються краще при використанні інших методів фільтрації.

З огляду на сприйнятливість фільтра до об'єктів з високою контрастністю, в слідстві чого вони згладжуються, застосування даного фільтра в системах дистанційного зондування є недостатньо ефективним.

В ході застосування згаданих методів фільтрації, можна зробити незадовільний висновок в плані їх ефективності в області ДЗ.

Тому для досліджень був обраний метод накопичення серії кадрів, який відрізняється підвищенням динамічного діапазону зображення, що сприятливо позначається вирішенні завдань, пов'язаних з отриманням і аналізом інформації. Цей метод демонструє суттєво кращі результати з мінімальними обчислювальними витратами.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

В процесі обробки зображень, виникають труднощі інтерпретації зображень у зв'язку з низьким контрастом і впливом шумової складової, цю проблему можна вирішити застосуванням методу накопичення серії зображень.

Обробка знімків з різним значенням накопичення сигналу дозволяє збільшити динамічний діапазон результуючого зображення. В умовах, коли вибір параметрів роботи оптико-електронного комплексу носить неоднозначний характер, такий підхід є оптимальним. Такий метод дозволяє помітно збільшити параметри виявлення об'єктів з малим показником контрастності. Даний підхід передбачає отримання серії знімків засобами ДЗЗ, підстильної поверхні з різним показником накопичення сигналу.

Процес формування послідовності кадрів оптико-електронною апаратурою в загальному вигляді складається з наступного. Оптичною системою збирається світловий потік і фокусується на фотоприймачі, який виконує перетворення фотонів в електрони. Під час експозиції, ці фотоелектрони накопичуються і по закінченню переносяться в вертикальні реєстри. Після накопичений заряд переміщається в горизонтальні реєстри і потрапляє на вихід у вигляді напруги, яка пропорційна накопиченому заряду. Потім отримана напруга підлягає процесу оцифровки і в результаті виходить послідовність кадрів.

Обмежуючим фактором при зйомці в космосі є розмитість зображення, яка виникає в наслідок руху КА, що розглядається в роботі [21]. Система будується таким чином, що кадровий період, складається з часу накопичення, протягом якого створюється зображення, і інтервалу між кадрами, коли фотоприймач не активний.

У зв'язку з цим, за певний час накопичення переміщення лінії візування місцевості не повинне перевищувати проекцію одного чутливого елемента на місцевості:

$$T_H \leq \frac{R}{V}. \quad (3.1)$$

де  $R$  – проекція одного фоточутливого елемента;

$V$  – швидкість точки під супутником;

$T_H$  – час реєстрації сигналу.

Елемент результуючого зображення  $I(x, y)$  утворюється сумуванням і усередненням елементів із заданими просторовими координатами в  $N$  кадрах з серії кадрів:

$$I(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_k(x, y). \quad (3.2)$$

Комбінування серії кадрів в одне зображення, передбачає виконання проміжного етапу обробки – геометричної корекції знімків (рис. 3.1).

В ході геометричній корекції, використовуючи методи цифрової обробки зображень, виконується трансформування знімка. На даному етапі усуваються спотворення, викликані відхиленням оптичної осі камери від напрямку в надир.



Рисунок 3.1 – Схема накопичення кадрів з геометричною корекцією

### 3.1 Вплив методу накопичення на характеристики зображення

Для дослідження характеристик зображення, після складання елементів результуючого кадру, використовувалося зображення, що складається з матриці 50x50 елементів.

Сформована матриця зображення, містить в собі сигнальну і шумову складову. Сигнальна складова складається з трьох об'єктів з розмірами: 3x3, 6x6 і 9x9. Шумова складова являє з себе розподіл Пуассона з середнім значенням – 110.

Так як вилучення корисної інформації з знімка може бути ускладнене через наявність шумів різної природи. Тому необхідно ввести міру, за допомогою якої буде проводитися оцінювання відносної частки сигналу і шуму при проведенні дослідження з оцінки якості даних, отриманих після застосування методу накопичення кадрів. Таким заходом є співвідношення сигнал і шум.

Таким чином, оцінювання сигнальної складової в окремому кадрі і після застосування накопичення проводилася за допомогою співвідношення сигнал / шум, за формулою (3.3):

$$\varphi = \frac{U}{\sqrt{D}}, \quad (3.3)$$

де  $U$  – середнє значення сигналу;

$D$  – дисперсія.

Умовна імовірність правильного виявлення сигналу розраховувалася за наступною формулою (3.4):

$$d = \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{C+\Phi}} e^{-\frac{(U-\bar{U}_{C+\Phi})^2}{2\sigma_{C+\Phi}}} dU. \quad (3.4)$$

Застосувавши метод накопичення кадрів, розраховується умовна ймовірність правильного виявлення сигналу. Отримані результати наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати

Кадри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дисперсія	112	112	111,7	111,6	111,3	111,3	111,	111,6	111,7	111,6
$d$	0,335	0,357	0,375	0,377	0,401	0,419	0,42	0,421	0,434	0,448
$\varphi$	9,939	14,15	17,1	19,5	21,6	23,2	24,4	25,4	26,7	27,4

На рисунку 3.2 графічно відображена залежність умовної ймовірності правильного виявлення сигналу від кількості накопичених кадрів.

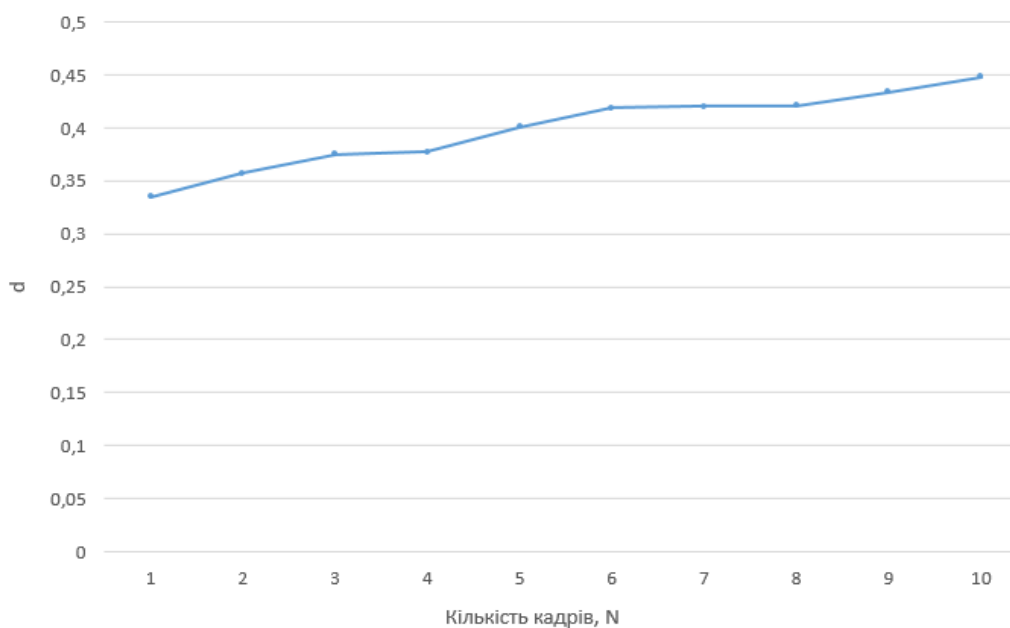


Рисунок 3.2 – Залежність умовної ймовірності правильного виявлення сигналу від кількості накопичених кадрів

На рисунку 3.3 демонструється реалізація зображень, отриманих методом накопичення кадрів.

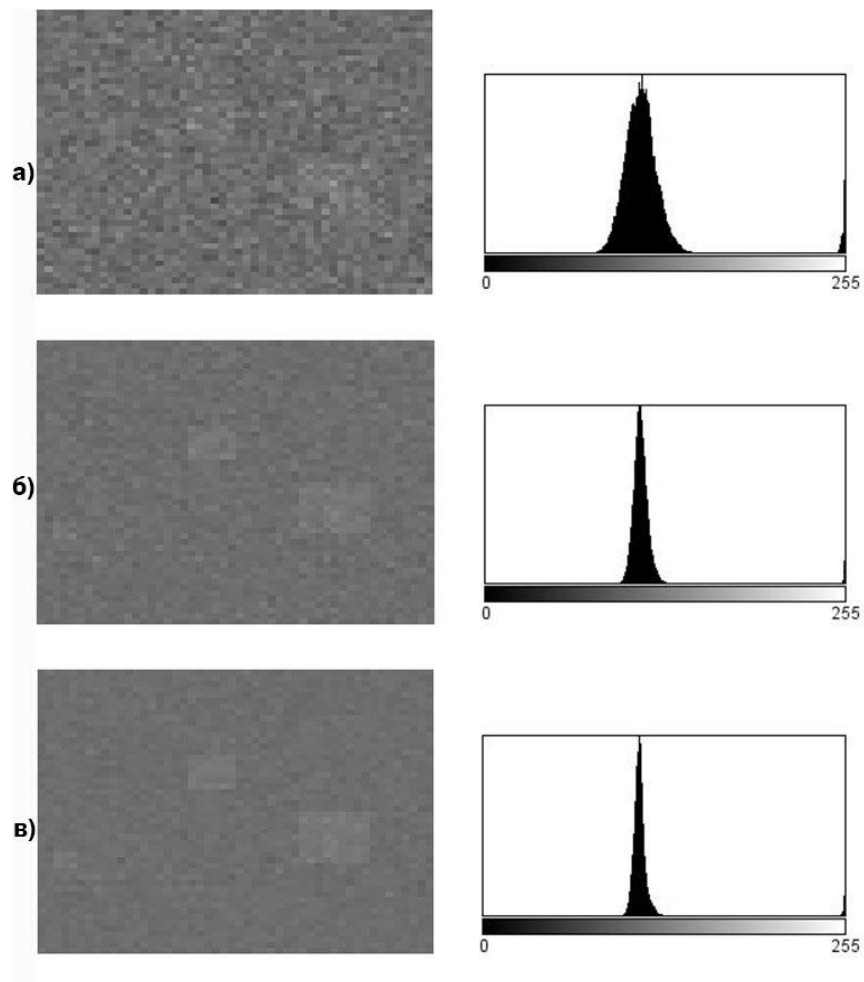


Рисунок 3.3 – Результат застосування накопичення послідовності кадрів

На рисунку:

а – вихідне зображення;

б – застосування накопичення з п'ятьма кадрами;

в – застосування накопичення з десятьма кадрами.

Використовуючи метод накопичення послідовності кадрів спостерігається збільшення співвідношення сигналу і шуму, що демонструється на рисунку 3.4. В силу відсутності кореляцій шуму на сумованих зображеннях, його середньоквадратичне значення буде зростати прямо пропорційно кореню квадратному з числа сумованих зображень, тому співвідношення сигналу до шуму буде зростати прямо пропорційно числу кадрів.

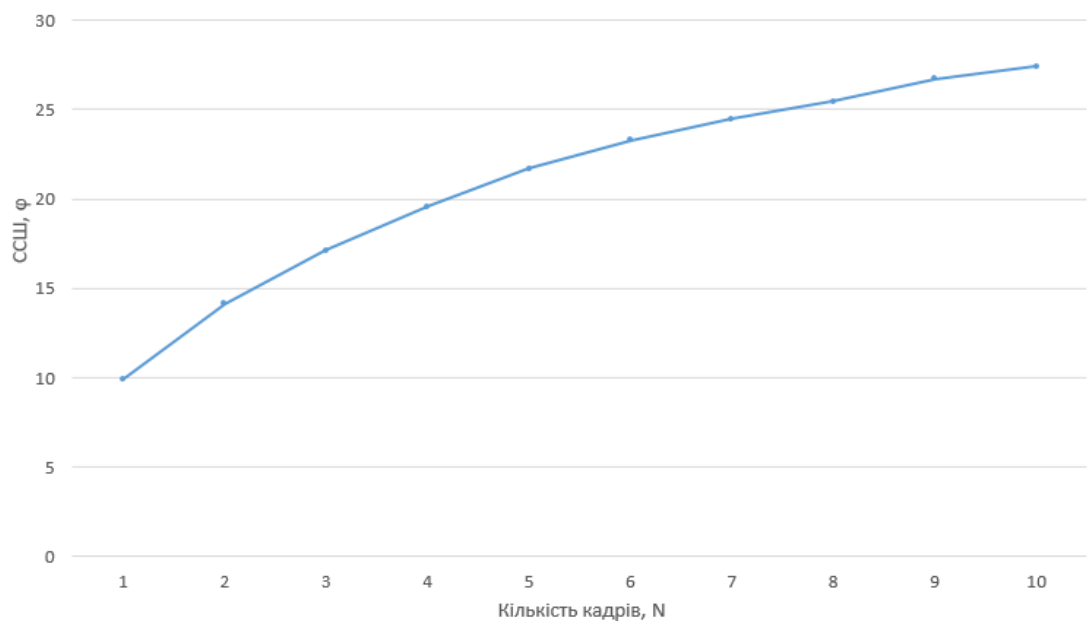


Рисунок 3.4 – Залежність співвідношення сигналу і шуму від кількості накопичених кадрів

### 3.2 Корекція зсуву кадрів при застосуванні методу накопичення

Зміщення кадрів із серії знімків один відносно одного, пояснюється помилками наведення при повторних спостереженнях однієї і тієї ж області простору, а також власним рухом супутника. Тому перед застосуванням накопичення кадрів, необхідно оцінити зсув кадрів відносно базового кадру.

Для подальшого розрахунку лінійного зсуву, виконується розрахунок швидкості руху супутника навколо Землі. Рухаючись по орбіті Землі, супутник рухається з постійною за модулем швидкістю, але напрямок швидкості змінюватиметься.

Щоб підтримувати кругову орбіту супутника відповідно до другого закону Ньютона потрібна доцентрова сила:

$$F = ma_n, \quad (3.5)$$

де  $a_n$  – доцентрове прискорення.

Для визначення доцентрового прискорення, використовується формула:

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (3.6)$$

де  $v$  – швидкість руху супутника;

$R$  – радіус кругової орбіти.

Відповідно до закону тяжіння, доцентрову силу забезпечує гравітація:

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \quad (3.7)$$

де  $M$  – маса Землі;

$G$  – гравітаційна постійна.

Підставивши все в вихідну формулу (4.4), отримаємо:

$$G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R}, \quad (3.8)$$

Виразивши швидкість, отримаємо формулу для знаходження швидкості руху супутника навколо Землі:

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}}, \quad (3.9)$$

$$R = R + h. \quad (3.10)$$

де  $R$  – заданий радіус.

Підставивши всі значення в формулу (3.9), отримаємо:

$$v = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{7,1 \cdot 10^6}} = 7,49 \cdot 10^3.$$

Для знаходження лінійного зміщення, скористаємося наступною формулою:

$$\delta = v \cdot t \frac{f}{H}, \quad (3.11)$$

де  $t$  – час витримки;

$f$  – фокусна відстань знімальної апаратури;

$H$  – висота зйомки.

Підставивши значення в формулу, отримаємо:

$$\delta = 7,49 \cdot 6 \cdot \frac{12,9}{705 \cdot 10^3} = 0,82 \text{ м.}$$

Важливою характеристикою знімків, отриманих за допомогою КА, є проєкція пікселя на місцевість. Ця величина змінюється при віддаленні від надиря сцени знімка, цей показник різниться в поздовжньому і поперечному напрямку польоту КА. Припустимо, що сенсори встановлені на КА, характеристики якого взяти для розрахунків, мають розмір проєкції пікселя на місцевості – 0,7 м. Тоді зміщення кадру, враховуючи попередні розрахунки, становить приблизно – 2 пікселя.

Застосувавши геометричну корекцію на підставі проведеної оцінки переміщення і накопичення сигналу елементів об'єкта на підставі обраного зображення для серії кадрів, виконується обробка зображень методом накопичення кадрів. Далі розраховується умовна імовірність правильного виявлення сигналу і ССШ згідно формулам (3.3) і (3.4). Отримані результати наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати

Кадри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дисперсія	218	109	67	45	29	32	33	29	26	22
$d$	0,26	0,309	0,375	0,348	0,429	0,418	0,417	0,429	0,441	0,459
$\varphi$	7,1	10,7	13	16,49	18,4	19,3	19,2	20,49	21,6	23,7

На рисунку 3.5 графічно відображена залежність умовної ймовірності правильного виявлення сигналу від кількості накопичених кадрів.

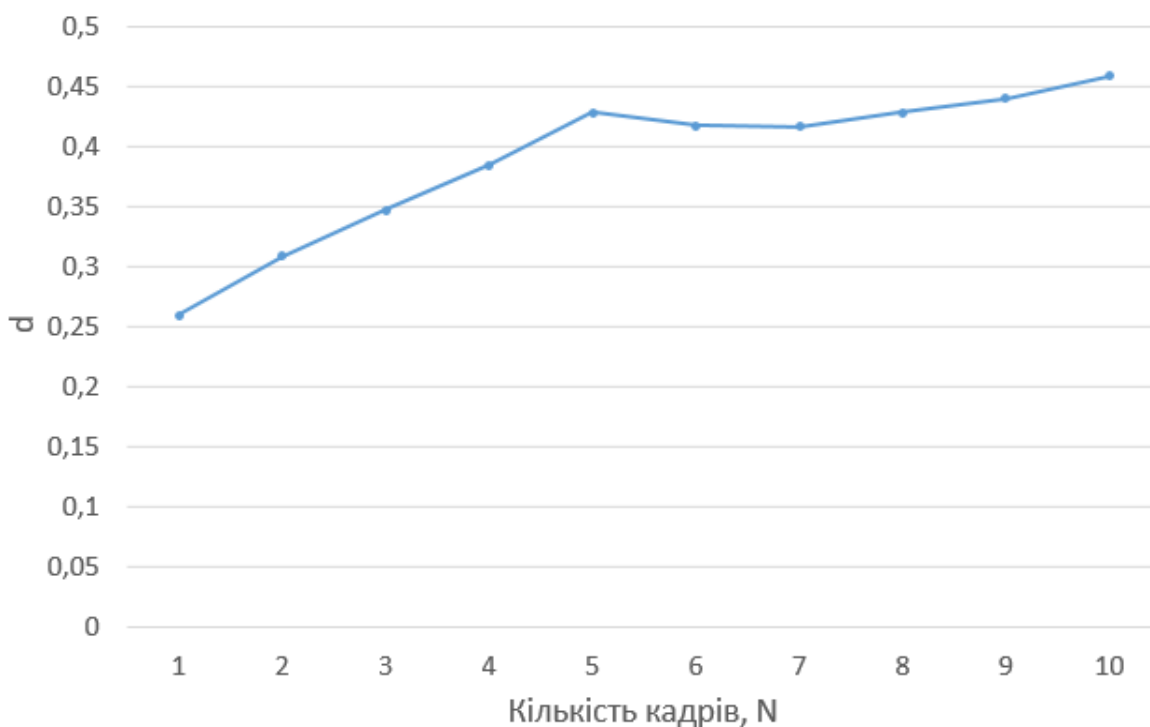


Рисунок 3.5 – Залежність умовної ймовірності правильного виявлення сигналу від кількості накопичених кадрів

На рисунку 3.6 демонструється реалізація зображень, отриманих методом накопичення кадрів з попередньою геометричною корекцією.

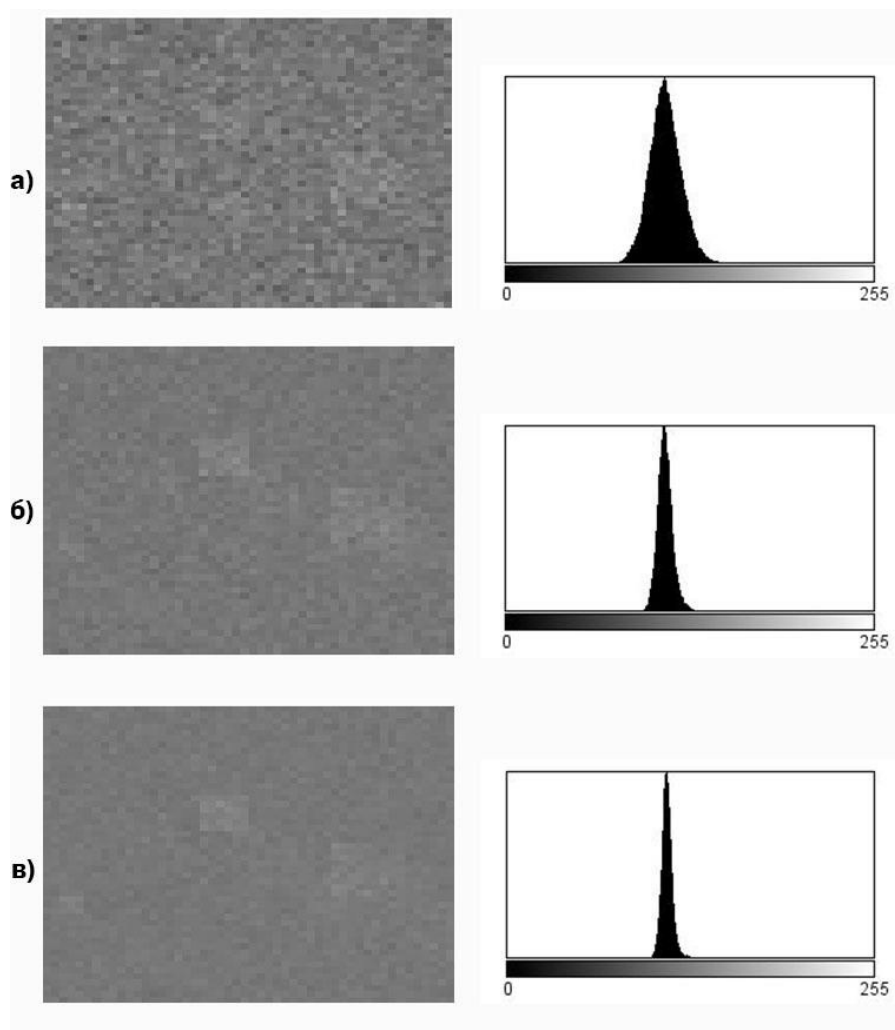


Рисунок 3.6 – Результат застосування накопичення послідовності кадрів з використанням геометричного зміщення

На рисунку:

а – вихідне зображення;

б – застосування накопичення з п'ятьма кадрами;

в – застосування накопичення з десятьма кадрами.

На рисунку 3.7 візуалізована залежність ССШ від кількості кадрів. З отриманих результатів можна спостерігати, що найбільший приріст якості відбувається при накопиченні перших кадрів. Далі процес сповільнюється, тому в умовах обробки даних дистанційного зондування, має сенс провести сортування кадрів по їх якісним характеристикам.

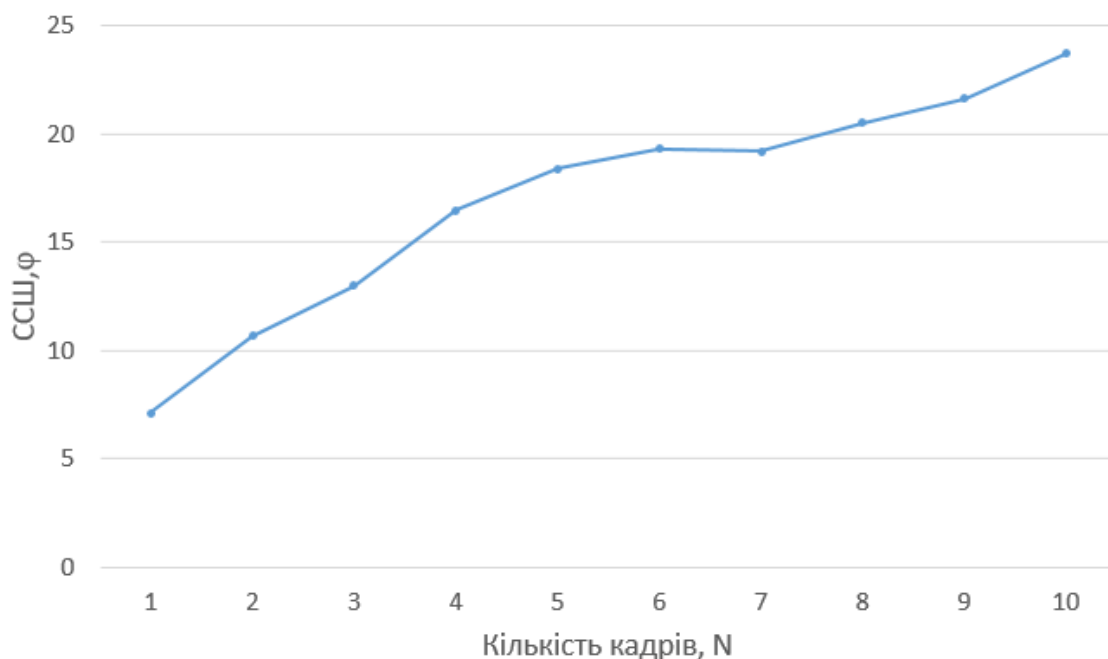


Рисунок 3.7 – Залежність співвідношення сигналу і шуму від кількості кадрів

На підставі результатів моделювання можна зробити висновок, що добитися підвищення якості супутникових знімків можна шляхом комбінування серії зображень. Ця операція сприяє підвищенню діапазону яскравості результуючого знімка, що сприятливо впливає на характерістікі розпізнавання малоконтрастних об'єктів.

## ВИСНОВКИ

Розвиток технологій ДЗ на сьогоднішній день є одним з актуальних і пріоритетних напрямків космічної сфери для наукової і соціальної діяльності.

Дослідження в області обробки знімків земної поверхні є актуальними, тому визначається необхідністю підвищення якості обробки зображень, потребою застосування ефективних методів обробки зображень. Тому супутникові знімки, як і всі дані ДЗ, схильні до впливу різного роду спотворень, які викликаються несправностями в роботі датчиків, рухливістю знімальної апаратури, помилками в каналах зв'язку і іншими причинами. Компенсувати вплив цих спотворень можна, вдавшись до методів обробки зображень. На сьогоднішній день існує безліч методів обробки зображень, але не всі методи підходять під специфіку обробки даних ДЗ. Серед основних причин, за якими не всі методи підходять для обробки даних ДЗ, варто відзначити:

- змазування зображень, як наслідок втрата можливості розпізнавання дрібних об'єктів;
- складність реалізації, значні витрати на обчислювальні ресурси;
- недостатнє подавлення шумової складової.

У даній роботі досліджувався метод накопичення серії кадрів, який відрізняється простотою реалізації, задовільним ступенем згладжування шумової складової і підвищенням динамічного діапазону, що можна спостерігати за результатами моделювання. В ході виконання роботи, також була досліджена можливість застосування методу накопичення в зв'язці з геометричною корекцією зображень, що істотно підвищило якісні характеристики зображення, які відображені в результатах.

Всі наведені фактори, разом з результатами досліджень, дозволяють зробити висновки про те, що використання методу накопичення в сфері ДЗ є раціональним і суттєво підвищить ефективність при вирішенні поставлених завдань, пов'язаних з аналізом інформації.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ващенко М. В. Дослідження методів фільтрації зображень // Гуманітарні та природознавчі науки: актуальні питання: зб. наук. праць. – Херсон: Молодий вчений, 2019. С. 147-149.
2. Ечина С. А. Спутниковая система связи PanAmSat: Обзор по материалам открытой ответственной и зарубежной печати за 1994-2007 гг. и Интернета 316 / С.А. Ечина. – Днепропетровск: ГП, 2008. – 102 с.
3. Абрамова В. В. Автоматичне оцінювання характеристик складних завод при обробці даних багатоканального дистанційного зондування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.07.12 "Дистанційні аерокосмічні дослідження" / Абрамова Вікторія Валеріївна ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т". – Харків, 2014. – 20 с
4. Пашков Д. П. Метод спектральної фільтрації в відеоспектрометрах дистанційного зондування // Новітні технології: зб. наук. праць. Серія: «Геодезія. Дистанційне зондування Землі». – Київ, 2016. Вип. 1 . С 109 – 113
5. Бабкин С. И. К вопросу о метрологической аттестации средств дистанционного зондирования атмосферы / С. И. Бабкин // Радиотехника. – 2011. – Вып. 164. С. 46–52.
6. Долинец Ю. С., Мозговой Д. К. Технология спутниковой съемки с ненулевыми угловыми скоростями // Людина і космос: зб. тез. Серія: «Х Міжнар. молодіжної науково-практичної конф». Дніпропетровськ, 2008. С. 495
7. Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений / Р. С. Гонсалес, Р. Е. Вудс: под ред. П. А. Чочиа – 3-е изд., испр. и доп. – М : Техносфера, 2012. – 1104 с.
8. Макаров А. Л. Управление процессом съемки поверхности Земли с помощью спутников // Авиационно-космическая техника и технология. Серія: «Информационные технологии». – Харьков, 2013. – Вып. 3. С. 101–109

9. Литвин-Попович А. И. Особенности реализации методов оценивания параметров рассеянных сигналов в системах дистанционного зондирования атмосферы / А. И. Литвин-Попович, В. Н. Олейников // Радиотехника. – 2010. – Вып. 160. С. 314–319.

10. Чабан Л.Н. Методы и алгоритмы распознавания образов в автоматизированном дешифрировании данных дистанционного зондирования: учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2016, – 94 с.

11. Буняева И.В. Потенциальные возможности радиометрических систем дистанционного зондирования земли на основе использования группировки спутников / И.В. Буняева, А.П. Верещак, А.А. Зеленский // Радиотехника. – 2006. – Вып. 144. С.258–268.

12. Азарсков В. М. Богом'я В. І. Підвищення ефективності систем управління космічними апаратами ДЗЗ // Новітні технології: зб. наук. праць. Серія: «Інформаційні технології». – Київ, 2016. – Вип. 1 . С 109 – 113

13. Петров Е.П Харина Н.Л. Чукаев К.Н. Методы выделения контуров объектов на спутниковых снимках минимальными вычислительными ресурсами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли: сб. научн. работ. Серия: «Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных». Москва, 2016. – Вып 5. С 304-311.

14. Дунаева А.В. Корнилов Ф.А. Обнаружение и локализация строений заданной формы на аэроснимках в инфракрасном диапазоне // Вестник ЮУрГУ: сб. научн. работ. Серия: «Вычислительная математика и информатика». Челябинск, 2017. – Вып. 3. С. 84–100

15. Рубан І., Шитова О., Метод обробки інформативних областей зображень в системах оптичного моніторингу // Комп'ютерні науки та інженерія: матеріали V Міжнародної конференції молодих вчених. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. С. 82–85.

16. Кальченко Д. С. Метод сжатия изображений для повышения производительности средств телекоммуникаций: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13 "Радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций" /

Кальченко Дмитрий Сергеевич ; Харьк. нац. ун-т радиоелектроніки. – Харьков, 2012. – 175 с.

17. Шовенгерд Р. А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений: перевод с англ. А. В. Кирюшина. – Москва: Техносфера, 2010. – 508 с.

18. Доля П. Г. Математические методы обработки изображений / П. Г. Доля. – Харьков : ХНУ, 2013. – 54 с.

19. Смеляков К. Водолажко О. Смеляков С. Осиевский С. Построение статистических методов исключения экстремальных наблюдений для обеспечения адекватного применения пространственных фильтров шума изображений // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків, 2013, Вип.4. С. 35–41.

20. Ясенев С. О. Особливості оброблення космічних знімків // Новітні технології: зб. наук. праць. Серія: «Геодезія. Дистанційне зондування Землі». – Київ, 2016. – Вип. 1 . С 9 – 13.

21. Саваневич В.Е. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров / В.Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, В. П. Власенко // Системи озброєння та військова техніка. – Харків, 2010. – Вип. 3. С. 154–159.