

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АНС
д-р техн. наук, проф.
_____ Ларін В.Ю.
« ____ » _____ 2023р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»
за освітньо-професійною програмою
«Безпілотні Авіаційні Комплекси»

Тема:

**Мультифункціональний безпілотний авіаційний
комплекс ідентифікації небезпечних природних явищ**

Виконавець:

Іванів Андрій Ігорович

Керівник:

Ларін Віталій Юрійович

Керівники спеціального розділу

д.т.н. проф. Остроумов Іван Вікторович

д.т.н. проф. Шмельова Тетяна Федорівна

Нормоконтролер

Шмельова Тетяна Федорівна

Київ-2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АНС
д-р техн. наук, проф.
_____ Ларін В.Ю.
« ____ » _____ 2023р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Іваніва Андрія Ігорович

1. Тема дипломної роботи: «Мультифункціональний авіаційний комплекс ідентифікації небезпечних природніх явищ» затверджена наказом ректора від “22” вересня 2023 № 1443/ст.
2. Термін виконання проекту: 05.9.2023 – 13.12.2023
3. Вихідні дані до проекту: теоретичні дані керівних документів Міжнародної організації цивільної авіації та національних документів України у сфері забезпечення та виконання польотів безпілотної авіації, та документи по забезпеченню протипожежного моніторингу.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз найбільш ефективних методів обробки зображень, які використовуються для покращення їх інформативності. Обґрунтування вибору оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків. Аналіз технічних характеристик БПЛА для встановлення та обґрунтування мінімальних вимог, необхідних для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу. Розробка Алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої ідентифікації лісових пожеж на базі БПЛА
5. Перелік обов’язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 14 рисунків, 5 таблиць, 1 блок-схема.

6. Календарний план-графік

Дата видачі завдання: «22» вересня 2023 року

Завдання	Терміни виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу «Аналіз дій авіадиспетчера в особливих випадках в польоті»	01.09.2023 - 12.09.2023	Виконано
Підготовка та написання 2 розділу «Аналіз дій авіадиспетчера в особливих випадках в польоті»	19.09.2023 - 26.09.2023	Виконано
Підготовка та написання 3 розділу «Аналіз дій авіадиспетчера в особливих випадках в польоті»	03.10.2023 - 10.11.2023	Виконано
Підготовка та написання 4 розділу «Системний аналіз складних систем. Метод експертних оцінок»	17.11.2023 - 24.11.2023	Виконано
Підготовка та написання 5 розділу «Автоматизована обробка аеронавіаційних даних великої розмірності»	31.11.2023- 07.12.2023	Виконано
Підготовка презентації та доповіді	07.12.2023- 13.12.2023	Виконано

Керівник дипломної роботи _____ Ларін Віталій Юрійович
(підпис керівника) (прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання прийняв до виконання _____ Іванів Андрій Ігорович
(підпис студента) (прізвище, ім'я, по батькові)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Мультифункціональний безпілотний авіаційний комплекс ідентифікації небезпечних природних явищ»: _ рисунків, _ таблиць, _ блок-схем, _ додатки, _ використаних джерел.

Мета дипломної роботи – удосконалення технологічного процесу та устаткування бортового обладнання дистанційно пілотованого літального апарату для використання в галузі протипожежного моніторингу.

Об'єкт дослідження – процес застосування безпілотних літальних апаратів в системі моніторингу та ідентифікації небезпечних природних явищ.

Предмет дослідження – алгоритми, технології та технічні засоби, використовувані в мультифункціональному БАК для точної ідентифікації лісових пожеж, зокрема їхньої ефективності, надійності та можливостей в умовах реального середовища .

Методи дослідження – аналіз сучасних напрямків проведення екологічного моніторингу з використанням дистанційних методів та структури для оптимальної роботи системи управління польотом ДПЛА, розробка науково-методичного апарату параметричної зміни властивостей бортових систем БПЛА, розробка науково-практичних рекомендацій для проведення екологічного моніторингу з використанням БПЛА.

У дипломній роботі аналізується можливість використання технології БПЛА в системі екологічного моніторингу; виділяються особливості використання БПЛА і системі спостережень; виявляються можливості формування процедур БПЛА і для екологічного моніторингу та визначаються екологічні проблеми для пошуку варіантів їх вирішення за допомогою і застосування БПЛА. Досліджується можливість використання БПЛА в екологічному моніторингу і знятті параметрів НПС, щої є основою в проведенні робіт екологічного моніторингу.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА, СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ПРОТИПОЖЕЖНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСУ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень.....	8
Терміни та визначення.....	9
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. ТЕНДЕНЦІЯ РОЗВИТКУ І ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ ЯВИЩ.....	15
1.1. Надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру як об'єкт застосування безпілотних авіаційних систем.....	15
1.2. Основні завданнями застосування БАС для повітряного моніторингу...	17
1.3. Обґрунтування переліку показників, що характеризують об'єкти повітряного моніторингу, та номенклатури контрольованих параметрів надзвичайних ситуацій.....	19
1.4. Високотехнологічні повітряні засоби з моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій.....	23
1.5. Оцінювання та прогнозування стану моніторингових територій.....	26
Висновок до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ	28
2.1. Аналіз предметної області.....	28
2.2. Моделі, методи, інформаційні технології протипожежного моніторингу лісу.....	35
Висновок до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ	41
3.1. Обґрунтування вибору оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків.....	41
3.2. Дослідження інформаційно-технічних характеристик безпілотних літальних апаратів.....	57

3.3. Алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації лісових пожеж на базі БПЛА.....	63
Висновок до розділу 3.....	65
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ. МЕТОД ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК	66
РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ.....	77
5.1. Вхідні дані.....	78
5.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні.....	80
5.3. Інтерполяція траєкторних даних.....	81
5.4. Розрахунок параметрів траєкторії.....	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АКБ – акумуляторна батарея

ДПЛА – дистанційно-пілотований літальний апарат;

ДСНС - Державна служба України з надзвичайних ситуацій;

БАС – безпілотна авіаційна система;

БАК – безпілотний авіаційний комплекс;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ГІС – геоінформаційна система;

НПС – навколишнє природне середовище;

ІГС – інженерно-геологічна зйомка;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПС – природне середовище;

ЛА – літальний апарат;

НС – надзвичайна ситуація;

КП – командний пункт;

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Інформаційна технологія (ІТ) — це комплекс методів і процедур, за допомогою яких реалізуються функції збору, передачі, опрацювання, зберігання та доведення до користувача інформації в організаційноуправлінських системах із використанням обраного комплексу технічних засобів. Сучасна інформаційна технологія орієнтована на застосування найширшого спектра комп'ютерних та комунікацій засобів. Основу сучасної інформаційної технології складають розподілена комп'ютерна техніка, «дружнє» програмне забезпечення та сучасні засоби комунікації.

Лісова пожежа – це некерований багатостадійний процес горіння лісових матеріалів у відкритому просторі на покритій лісом площі. Для виникнення лісової пожежі потрібні принаймні дві умови: наявність сухого лісового горючого матеріалу (6–25 % вологості) та джерело вогню.

Моніторинг лісових пожеж – система спостережень і контролю за пожежною небезпекою в лісі за умови сухої погоди, станом лісових горючих матеріалів, джерелами вогню і лісовими пожежами з метою своєчасного розроблення і проведення заходів щодо запобігання лісовим пожежам, зменшення втрат від них.

Система централізованого пожежного спостереження — комплекс технічних засобів, призначений для передавання у заданому вигляді повідомлень про виникнення пожеж і технічний стан установок пожежної автоматики (пожежогасіння, пожежної сигналізації, димовидалення) з об'єкта протипожежного захисту на пункт зв'язку чергових частин пожежнорятувальних підрозділів, а також їх прийом, опрацювання, передача і реєстрація.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – повітряне судно, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування, розташованого поза повітряним судном, або повітряне судно, що здійснює політ автономно за відповідною програмою.

Безпілотна авіаційна система – цільова авіаційна система, що включає літальний апарат без екіпажу, засоби наземного забезпечення, підготовки і застосування відповідно до призначення літального апарата.

Інформаційне забезпечення – сукупність процесів з підготовки і надання спеціально підготовленої інформації для вирішення управлінських, наукових, технічних та інших завдань у відповідності з етапами їх розв’язання.

Математичне забезпечення – це сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів опрацювання інформації, що використовуються під час розв’язання функціональних задач з отриманням необхідних результатів. Математичне забезпечення включає засоби моделювання процесів управління, методи оптимізації досліджуваних процесів та прийняття рішень (методи багатокритеріальної оптимізації, математичного програмування, математичної статистики, теорії масового обслуговування та ін.).

Програмне забезпечення – складова частина комп’ютерної техніки, сукупність програм з даними і документації на них, що забезпечує її функціонування. До складу програмного забезпечення входять базові (загальносистемні) та прикладні (спеціальні) програмні продукти. Базові програмні засоби служать для автоматизації взаємодії людини і комп’ютера, організації типових процедур опрацювання даних, контролю і діагностики функціонування технічних засобів. Прикладне програмне забезпечення являє собою сукупність програмних продуктів, призначених для автоматизації вирішення функціональних задач інформаційної системи.

Перетворення зображень – застосування різних послідовних технологій, які змінюють вигляд зображень та якість для кращого огляду, сприйняття, аналізу і розпізнавання, а також приведення до прийняттого вигляду й до подальшого застосування.

Вейвлети —узагальнена назва математичних функцій певної форми, які є локальними і в часі, і по частоті, в яких усі функції отримуються із однієї базової, змінюючи її шляхом зсуву або розтягу.

Вейвлет-перетворення –перетворення, що розглядають функцію (взяту як функція від часу) у термінах коливань, локалізованих за часом (простором) і частотою. На відміну від звичайних спектральних перетворень, вейвлет-аналіз дозволяє з однаковою точністю апроксимувати як гладкі функції, так і функції з різкими випадками, що дає можливість визначати незначні об’єкти. В якості базисних

функцій, що утворюють ортогональний базис, можна використовувати широкий набір вейвлетів.

Кластерний аналіз — задача розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Завдання кластеризації відноситься до статистичної обробки, а також до широкого класу завдань навчання без вчителя.

Гістограма зображення – дискретна функція H , визначена на множині значень $[0; 2^{b_{pp}}]$, де b_{pp} — кількість біт, що відводиться для кодування яскравості одного пікселя.

Гістограмні методи – методи поелементного перетворення зображень, метою яких є зміна закону розподілу ймовірностей яскравостей пікселів, що описує зображення.

Еквалізація (вирівнювання) гістограм – перетворення зображень, яке призводить до вирівнювання інтегральних площ рівномірно розподілених по діапазону яскравостей.

Протипожежний захист лісів є однією з основних складових гарантування безпеки національних природних багатств, оскільки наслідки лісових пожеж є катастрофічними як для біосфери, так і для атмосфери, гідросфери, літосфери. В основі технології охорони лісів від пожеж лежать засоби запобігання та раннього виявлення лісових пожеж. Ефективність їх діяльності є запорукою швидкого реагування аварійних бригад та недопущення переростання епіцентру лісової пожежі в широкомасштабну екологічну катастрофу. Попри наявний арсенал сучасних засобів протипожежного моніторингу та протипожежної охорони лісу, через відсутність можливості вчасного оперативного виявлення та знешкодження, лісові пожежі з незначних осередків переростають в екологічні катастрофи. Тому питання протипожежного захисту лісів сьогодні залишається відкритим та потребує детального вивчення, а сучасні інформаційні технології, що не забезпечують у повній мірі вирішення питання надійного раннього виявлення осередків лісових пожеж, підлягають удосконаленню. Як відомо ефективність захисту лісів від пожеж насамперед залежить від раннього виявлення їх осередків та своєчасного оповіщення про небезпеку відповідних служб. Тому розробка та дослідження моделей, методів, інформаційних технологій раннього виявлення осередків лісових пожеж, орієнтованих на мобільність та оперативність є сучасною актуальною науково-прикладною задачею.

Швидкість реагування та активні дії рятувальних підрозділів безпосередньо впливають на збереження життя людей та об'єктів. Тому впровадження БПЛА та нових технологій – необхідний крок для підвищення ефективності роботи ДСНС.

Завдяки роботі з БПЛА стало значно легше проводити розвідку пожеж у екосистемах, проводити обстеження територій та акваторій.

Разом з тим необхідно зауважити, що активне впровадження БПЛА в оперативну діяльність рятувальних сил потребує відповідного науково-технічного супроводження.

На мій погляд, потребують дослідження ряд концептуальних питань, а саме: інформаційні технології та програмне забезпечення БАС ; критерії вибору БПЛА для протипоженого моніторингу та методи обробки зображень для виявлення пожеж.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що представлені в роботі матеріали, теоретичні висновки та узагальнення наблизять досвід використання БПЛА до вітчизняних дослідників, допоможуть розширити кругозір і розвинути творче мислення фахівців. Також, практичне значення полягає в розробці технологічної схеми і практичних рекомендацій по проведенню моніторингу та ідентифікації небезпечних природних явищ за допомогою БПЛА та зондуванню територій за рівнем забрудненості певних складових НПС. Особистий внесок випускника: проаналізовано усі властивості безпілотних літальних апаратів, визначено параметри, що мають вплив на спостереження в системі екологічного моніторингу, виділено коло питань, які потрібно враховувати при побудові системи екологічного моніторингу за допомогою БПЛА.

У більшості випадків перед повітряним пошуком та моніторингом ставляться задачі отримання інформації про місцевість і об'єкти, проте не усюди і не завжди, а в деякому конкретному обмеженому районі, який визначають на основі знань, отриманих за іншими каналами інформації. Задача повітряного пошуку та моніторингу для БАС зазвичай формулюється як задача суцільного перегляду деякого, звичайно прямокутного, іноді лінійно витягнутого (дорога, узбережжя, трубопровід тощо) елемента інфраструктури або ділянки місцевості з отриманням знімків місцевості на матеріальному носії (фотоплівці, магнітній стрічці, в електронному форматі тощо).

У разі використання БАС зі встановленими на БпЛА цифровими системами можливо здійснювати екологічне патрулювання і моніторинг, фото- та відеоспостереження територій, забезпечувати зв'язком і навігаційною інформацією системи управління особовим складом аварійнорятувальних команд та системи підтримки ухвалення рішень. БАС у сфері цивільного захисту

застосовуються для забезпечення екологічного контролю за ступенем забруднення навколишнього середовища, у тому числі в осередках надзвичайних ситуацій, а також для оперативного представлення результатів контролю. Вони можуть слугувати для розв'язання широкого кола задач у галузі проведення авіаційного пошуку і рятування та пошуково-рятувальних операцій на суші та морі, в умовах складного рельєфу місцевості (лісисті гори, ущелини).

РОЗДІЛ 1. ТЕНДЕНЦІЯ РОЗВИТКУ І ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ ЯВИЩ

1.1. Надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру як об'єкт застосування безпілотних авіаційних систем

Нині Україна є найбільш критичним регіоном Європи з техногенного навантаження, що у п'ять разів перевищує середньоєвропейський рівень. Ризик виникнення в Україні НС техногенного характеру є досить високим, що насамперед пов'язано з високим рівнем техногенного навантаження на регіони, наявністю комплексу енергетичних, хімічних, гірничодобувних об'єктів, значною кількістю промислово-міських агломерацій і високою щільністю населення у промислово розвинутих регіонах держави.[13]

Загрозу виникнення НС природного характеру несуть небезпечні метеорологічні явища та складні погодні умови (зливи, посухи, спека, снігопади, хуртовини, ожеледь, заморозки, урагани, шквали, смерчі), гідрологічні явища (повені, паводки, підтоплення, селі), геологічні явища (небезпечні екзогенні геологічні процеси – зсуви, просідання та карст), епідемії та пандемії. Серед зазначених видів загроз варто виділити метеорологічні явища, частота яких в Україні значно збільшилася останніми десятиліттями, зокрема обледеніння, підтоплення, посухи тощо .[14]

Ризики виникнення НС природного і техногенного характеру є фактором, що визначає якість життя населення будь-якої країни. На сьогодні масштаби НС та їх наслідки змушують розглядати їх як загрозу безпеці суспільству, довкілля, розвитку економіки країни та національній безпеці загалом.[13]

Завдання щодо зменшення ризику виникнення НС має три етапи:

- попередження можливої НС;
- моніторинг (розвідка) НС, що сталася;
- ліквідація НС.

Відповідно до цього моніторинг НС також має три складові, зокрема:

- моніторинг потенційно небезпечних об'єктів і територій;
- моніторинг стану НС;
- контроль її розвитку і ліквідації.

Метою моніторингу НС є виявлення стану й тенденцій зміни природних, техногенних, військових та інших елементів навколишнього середовища, що можуть призвести до виникнення НС. А зміст моніторингу визначається як система безперервних спостережень, лабораторного та іншого контролю для оцінки стану захисту населення і територій та небезпечних процесів, які можуть призвести до виникнення НС, а також своєчасне виявлення тенденцій до їх зміни. [13-14]

Моніторингова інформація містить дані про:

- джерела потенційної небезпеки різного роду (техногенні, природні, військові, біологічні, соціальні тощо) з оцінкою можливості їх впливів, що здатні призвести до виникнення НС;

- небезпечні впливи на об'єкт захисту, включно з оцінкою можливості їх появи, ступінь їх загрози для безпосереднього виникнення НС і можливості завчасного їх виявлення;

- об'єкт захисту: його тип, специфіку, безпеку виникнення пов'язаних із ним НС, безпеку функціонування для навколишнього середовища, а також інші показники, що визначають його захищеність, безпеку й можливість виникнення НС;

- можливу НС, пов'язану з об'єктом захисту: конкретні критерії НС на зазначеному об'єкті, можливий її характер, наслідки, величину можливого збитку, й імовірності виникнення та оцінку ризику.

Водночас особливо важливим є моніторинг ризиків (небезпек), які зумовлюють виникнення НС, зокрема:

- моніторинг небезпечних природних процесів і явищ;
- комплексний (геосистемний) моніторинг;
- екологічний моніторинг (моніторинг зовнішнього середовища);
- моніторинг атмосфери;
- моніторинг геологічних процесів;

- моніторинг гідро- та літосфери;
- моніторинг лісових / ландшафтних пожеж (пожеж в екосистемах);
- моніторинг небезпечних виробничих процесів;
- радіаційний, біологічний та хімічний моніторинг.

Зважаючи на можливості сучасних авіаційних засобів моніторингу природно-техногенних ризиків і загроз, окремо слід звернути увагу на безпілотну складову авіаційної компоненти, яка останнім часом активно прогресує завдяки розвитку авіаційних, космічних та інформаційно-телекомунікаційних технологій.

Необхідність швидкого й ефективного реагування на небезпеки, що пов'язані із загрозами людському життю, потребує застосування роботизованих комплексів. Безпілотні авіаційні системи (БАС) є найбільш наукоємними й досконалими апаратами такого типу, що мають на сьогодні найбільше співвідношення показника ефекту, який досягнуто, до питомих витрат на одну годину польоту.[12]

1.2. Основними завданнями застосування БАС для повітряного моніторингу

Основними завданнями застосування БАС для повітряного моніторингу є[13]:

- проведення пошукових робіт під час виникнення НС техногенного та природного характеру;
- авіаційний моніторинг районів ландшафтних степових, лісових і торф'яних пожеж, техногенних аварій та катастроф, здійснення їх фото- і відеозйомки;
- оперативний моніторинг паводкової обстановки;
- оперативний моніторинг пожежонебезпечних регіонів;
- моніторинг у важкодоступній гірській місцевості селенебезпечних та зсувонебезпечних процесів;
- отримання необхідних відеоданих у реальному часі з місця події для забезпечення організації ліквідації НС, інформування керівництва держави;
- проведення екологічного моніторингу територій України на предмет забруднення радіонуклідами та сильнодіючими хімічними отруйними речовинами, у тому числі

території зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення Чорнобильської АЕС;

– проведення моніторингу водних акваторій на морі щодо виявлення і встановлення координат маломірних суден і людей, що зазнали лиха на воді, та виявлення і визначення масштабів забруднення водних акваторій;

– проведення оцінки масштабів НС;

– визначення меж та стану зон НС;

– проведення ранньої діагностики пожеж та виявлення осередків samozapalennya з точним визначенням їх географічних координат;

– спрямування сил протипожежного захисту на джерело вогню в умовах задимленості;

– проведення моніторингу місцевості щодо забруднення сильнодіючими отруйними речовинами;

– вивчення рівня складності та небезпеки для визначення потреб в особовому та технічному складі пожежних та рятувальних бригад;

– інженерна розвідка в умовах НС;

– доставка вантажу (засобів порятунку, медикаментів тощо) у важкодоступну місцевість або місцевість зі шкідливими для життя і здоров'я людини умовами;

– оперативне обстеження великих площ і протяжних ділянок земної, водної, морської й льодової поверхні;

– моніторинг газових і нафтових магістралей, контроль за станом нафто- та газопроводів, виявлення витоків, несанкціонованих урізань з метою попередження НС техногенного характеру на лінійних протяжних об'єктах;

– моніторинг транспортного руху, контроль за станом залізничних колій, шосейних і ґрунтових доріг, транспортних розв'язок, мостів та інших дорожніх інженерних споруд з метою попередження НС техногенного характеру на лінійних протяжних об'єктах;

– обстеження територій з метою оперативного попередження про пожежі (лісові й міські), контроль лісів і шельфової зони з метою попередження НС природного та техногенного характеру на великих площинних об'єктах;

– контроль за станом ліній електромереж з метою попередження НС техногенного характеру на лінійних протяжних об'єктах.

За результатами аналізу можливих завдань застосування БАС можна сформулювати перелік умов її експлуатації[15]:

- у простих і складних метеоумовах;
- у різних географічних і кліматичних районах України, над земною, водною і морською поверхнею;
- вдень, вночі та у сутінках;
- в умовах гірської місцевості з висотою скатів перемінної крутості до 4,5 км і кутами скатів до 30°;
- за температурою від мінус 40 до плюс 50 С;
- за вологості повітря до 95 %;
- за швидкості вітру біля поверхні землі до 15 м/с будь-якого напрямку.

1.3. Обґрунтування переліку показників, що характеризують об'єкти повітряного моніторингу, та номенклатури контрольованих параметрів надзвичайних ситуацій

Спектр НС в Україні досить широкий, тому необхідно приділяти особливу увагу створенню та функціонуванню системи моніторингу певного виду. Ціллю моніторингу НС природного та техногенного походження є завчасне отримання кількісної та якісної інформації про можливе місце та час виникнення НС, характер та ступінь пов'язаних із ними небезпек для населення та територій, а також оцінка можливих збитків. [16]

НС природного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, пов'язане з небезпечним метеорологічним, геологічним, геофізичним або гідрологічним явищем, пожежею у природних екологічних системах, зміною стану повітряного басейну, деградацією ґрунтів чи надр, інфекційною захворюваністю та отруєнням людей, інфекційним захворюванням свійських тварин, масовою загибеллю диких

тварин, ураженням сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками тощо. [17]

Загрозу виникнення НС природного характеру несуть небезпечні метеорологічні явища та складні погодні умови (посухи, спека, снігопади, ожеледь, хуртовини, зливи, градобій, заморозки, урагани, шквали, смерчі), гідрологічні явища (паводки, повені, підтоплення, селі), геологічні явища (небезпечні екзогенні геологічні процеси – зсуви, просідання та карст), епідемії та пандемії. Серед зазначених видів загроз варто виділити метеорологічні явища, частота яких в Україні значно збільшилася останніми роками та десятиліттями, зокрема такі, як обледеніння, підтоплення, посухи. [15]

Для прогнозування геологічних процесів виділяють такі складові: просторова (масштаби процесу), часова (довгостроковий прогноз, короткостроковий, сезонний), активність процесу.

Стосовно гідрометеорологічних та кліматичних процесів характерним є прогнозування з урахуванням тенденцій змін основних параметрів:

- для температури повітря – з урахуванням змін клімату;
- для атмосферних опадів – з урахуванням змін середньої кількості опадів; –
- для поверхневих вод – з урахуванням річкового стоку на більшості водозборів тощо.

Основними даними для прогнозування лісових пожеж є:

- клас пожежної безпеки в лісі;
- місце та площа ділянок лісового фонду, де є можливість спалаху;
- рельєф місцевості;
- наявність потенційних джерел вогню. [18]

У сучасному світі НС природного характеру не є рідкістю. Серед них найчастіше можуть статися метеорологічні (грози, екстремальні температури повітря, смерчі, урагани тощо), гідрологічні (паводки, зміна рівня ґрунтових вод, селі), геологічні (землетруси, виверження вулканів, карсти, лавини тощо), біологічні (епідемії, масове розмноження шкідників сільського господарства тощо), геліокосмічні (падіння небесних тіл, магнітні бурі тощо). [12]

Особливості географічного розміщення України, наявність гірських масивів, близькість морів, атмосферні процеси зумовлюють різновид кліматичних умов. У результаті взаємодії цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. [13]

В окремих випадках вони мають катастрофічний характер для навколишнього середовища і населення. Найбільш небезпечними природними явищами, які спричиняють жертви та збитки, є пожежі, повені, зсуви, обвали, лавини, урагани, землетруси.

У прогнозуванні НС природного характеру можна виділити декілька актуальних особливостей :

- всі природні явища, що прогножуються, мають передвісників, вони потребують постійного вивчення та аналізу, адже можуть сигналізувати про різні НС;

- для різних небезпечних природних явищ необхідне визначення відповідних строків прогнозування, що сприятимуть найбільшій точності;

- ризик НС природного характеру визначається значною кількістю факторів різного характеру (локального, глобального тощо).

Небезпечні природні явища метеорологічного характеру вирізняються комплексом величин, які за своїм значенням, інтенсивністю та тривалістю являють загрозу безпеці людей, а також можуть завдати значних збитків майну та територіям. [12,17]

До особливостей прогнозування небезпечних метеорологічних явищ належить необхідність значної кількості інформації про стан атмосфери, яку потрібно постійно отримувати та аналізувати для достовірного прогнозу на різні періоди часу. Водночас вірогідність здійснення короткострокового прогнозу завжди вища за довгостроковий. [16]

Найчастіше серед геологічних небезпечних явищ на території України виникають зсуви, селі, обвали, карсти. Теоретичний прогноз таких явищ ґрунтується на визначенні можливого часу та ймовірності зміщення порід, кутів нахилу схилів, характеристик ґрунтів.

Серед явищ гідрологічного характеру найчастіше виникають підтоплення, повені, паводки, затори, зажори. Повені та паводки залежать від коливань рівня води в річках, що обумовлено нерівномірністю випадання опадів. Затори та зажори виникають в руслах річок під час танення льодового покриву і зазвичай місця їх виникнення повторювані, оскільки їх поява зумовлена морфометричними характеристиками русла. Ці явища відрізняються тим, що зазвичай повторюються в одну і ту ж пору року.

Застосування повітряного моніторингу для контролю сейсмічних територій і їх поєднання з наземними геофізичними методами надає можливість суттєво підвищити ефективність прогнозування значних сейсмічних подій. Кількість відомих передвісників землетрусів наближається до 200, але для прогнозування землетрусів необхідно виявити три мінімальні основні параметри: координати епіцентру; час настання; магнітуду.

Для короткострокового прогнозування землетрусів використовуються такі передвісники: сейсмогравітаційні, варіації сили тяжіння, геохімічні, сейсмогідрологічні, варіації гравітаційного поля, електричні, магнітні, електромагнітні, оптичні тощо.

Причинами виникнення цунамі можуть стати: підводні землетруси, виверження підводних вулканів, підводні зсуви, падіння у воду уламків скель, вибухи у воді. До основних характеристик цунамі належить магнітуда, інтенсивність та швидкість руху хвилі.

Для виникнення сільового потоку необхідна наявність рясних дощових опадів, збільшення швидкості танення снігів, землетруси та вулканічна діяльність. На їх виникнення суттєво впливає вирубка лісів, вибухові роботи, розробка кар'єрів тощо.

Причинами природних пожеж можуть стати грози, аварії наземного та повітряного транспорту, аварії різної техніки, терористичні акти та необережне поводження з відкритим вогнем. Найбільш пожежонебезпечна обстановка складається в кінці весни та на початку літа, коли стоїть суха та тепла погода. [13]

1.4. Високотехнологічні повітряні засоби з моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій

З огляду на аналіз практичного досвіду щодо застосування БАС провідними країнами світу під час сучасних локальних війн і збройних конфліктів виявлено широкий спектр цивільних завдань, у разі вирішення яких БАС також демонструють високу ефективність. Пріоритет у розвитку БАС різноманітного призначення пояснюється як економічною ефективністю, так і їх інноваційними характеристиками, які вважаються неможливими для пілотованої авіаційної техніки. [14]

Переважними ознаками БАС щодо пілотованих літальних апаратів, що вже багатократно підтверджено світовим досвідом, вважаються :

- висока економічна ефективність з урахуванням цінової політики;
- маловисотність – здатність здійснювати аерозйомку у мінімальному діапазоні висот 1–10 м для одержання зображень від високої розрізненості до декількох сантиметрів на місцевості;
- точковість – можливість досить детального аерознімання невеликих за розміром об'єктів і ділянок у місцях, де отримати зображення іншими способами нерентабельно або технічно неможливо, наприклад в умовах щільної міської забудови або складного рельєфу місцевості;
- мобільність – відсутність потреби в спеціально обладнаних аеродромах чи спеціально підготовлених злітних майданчиках, а також враховуючи, що БАС легко транспортуються легковими автомобілями, а деякі з них можуть переноситися вручну;
- висока оперативність – загальний цикл застосування (від виїзду в район події до отримання документальних результатів) потребує мінімум часу;
- екологічна чистота – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, що сприяє забезпеченню мінімального навантаження на довкілля;

– ефективність дій – рятувальники, використовуючи БпЛА, здатні, наприклад, швидко зорієнтуватися в умовах НС та обрати ефективну стратегію дій для її ліквідації.

Згодом активне розповсюдження різноманітних за розмірами та функціями БАС у цивільній сфері, а також їх цінова доступність надали можливість застосовувати БАС для вирішення широкого кола завдань у сфері цивільного захисту. Цьому також сприяло те, що:

- по-перше, управління БпЛА з боку пілота здійснюється дистанційно, тобто без жодних загроз його життю;
- по-друге, на його борту може розташовуватись таке цільове спорядження як RGB-, інфрачервоні та багатоспектральні цифрові камери, що функціонують у різних діапазонах довжин хвиль електромагнітного спектра, а також інші датчики (газоаналізатори, прилади радіаційної або хімічної розвідки тощо), які управляються оператором дистанційно і надають можливість передавати відео- та параметричну інформацію з борта БпЛА в масштабі реального часу;
- по-третє, БпЛА здатні виконувати низку завдань під час рятування людей і матеріально-технічних цінностей в умовах різних НС завдяки їхній вантажопідйомності.

Повітряний моніторинг з використанням БпЛА є процесом періодичного або безперервного збирання інформації про характер і параметри об'єкта моніторингу (розвідки) для визначення динаміки змін його стану. Залежно від завдання, що розв'язується, на БпЛА встановлюються відповідні технічні засоби для його виконання. [13]

Попередження НС спрямоване на запобігання виникненню НС, на зниження розмірів шкоди довкіллю та матеріальних втрат, а також збереження здоров'я людей у разі їх виникнення. Його метою є завчасне реагування на загрозу виникнення НС техногенного та природного характеру на базі даних моніторингу, досліджень, експертизи, і прогнозів щодо можливого перебігу подій

для недопущення їх переростання у НС або пом'якшення їх можливих наслідків.

Під час попередження НС вирішується низка завдань найбільшої ваги, зокрема :

- прогнозування НС;
- раціональне розміщення продуктивних сил територією країни з урахуванням природної та техногенної безпеки;
- запобігання в межах можливого деяким несприятливим і небезпечним природним явищам; – запобігання аваріям і техногенним катастрофам;
- розроблення і здійснення інженерно-технічних заходів, спрямованих на запобігання джерелам НС, пом'якшення їх наслідків, захист населення і матеріальних засобів;
- ліцензування діяльності небезпечних виробничих об'єктів тощо. [12]

Виявлення та оповіщення про НС на ранній стадії вважається фахівцями вирішальним фактором для забезпечення своєчасного вжиття належних заходів у відповідь. За певних обставин раннє виявлення і сповіщення про НС може також призвести до значного пом'якшення їх наслідків.

З появою безпілотної авіації ситуація щодо моніторингу можливих джерел небезпек покращилася завдяки можливостям такої авіації. БпЛА зі встановленою на їхньому борту спеціальною апаратурою здатні здійснювати цілодобові польоти до кромки хмарності й оперативно надавати необхідну інформацію у вигляді цифрових аерознімків чи параметрів як для довгострокового, так і оперативного прогнозування НС. [11]

БАС також надають можливість пожежникам спостерігати за місцевістю з висоти пташиного польоту і допомагають оцінити ситуацію щодо поширення пожежі в інтересах оперативного ухвалення рішення про напрями висування пожежно-рятувальних бригад і шляхи та порядок евакуації людей . [17]

Міжнародна група вчених із США та семи інших країн за допомогою БпЛА DJI Phantom, модифікувавши їх такими компонентами, як параметричні мініатюрні газові сенсори і спектрометри, розробила систему для прогнозування часу, коли станеться виверження вулкану. Імовірність цього визначається на підставі

співвідношення даних про сірку і вуглекислий газ, які вимірюються датчиками навколо вулкану. [16]

1.5. Оцінювання та прогнозування стану моніторингових територій

Прогнозування та оцінювання стану НПС є важливою частиною екологічного моніторингу. Метою екологічного прогнозування є раціональне управління якістю НПС. Прогноз – це науково обґрунтоване судження про стани об'єкта в майбутньому та про альтернативні шляхи і терміни їх реалізації.

Прогнозування – процес розробки прогнозів. Прогнозування ґрунтується на трьох джерелах інформації про майбутнє: оцінка перспектив розвитку і майбутнього стану явища на основі досвіду, найчастіше за аналогією з відомими аналогічними явищами; умовне продовження в майбутнє тенденцій; моделі майбутнього стану явища або процесу, побудована відповідної до очікуваних змін ряду умов. [30]

Існують такі види прогнозів:

1. Пошуковий прогноз – змісті якого полягає у визначенні можливих станів об'єкта в майбутньому.
2. Нормативний прогноз – зміст якої полягає у визначенні шляхів і 38 термінів досягнення ймовірних станів об'єкта в майбутньому, які прийнятті в якості мети.
3. Інтервальний прогноз – результаті якого представлений у вигляді довірчого інтервалу певних характеристик об'єкта прогнозу для заданої ймовірності складання прогнозу.
4. Точковий прогноз – це прогноз, результаті якого представлений у вигляді одиничного значення, безі вказівки довірчого інтервалу.
5. Оперативний прогноз – зі терміном виконання до 1 місяця.
6. Короткостроковий – від 1 місяця до 1 року.
7. Середньостроковий – 1–5 років.
8. Довгостроковий – 5–15 років.
9. Довгостроковий – більше 15 років.

Методи прогнозування класифікуються за ступенем формалізації на інтуїтивні і формалізовані (інтуїтивні методи використовують коли об'єкт прогнозування

занадто простий або дуже складний, що не дає змогу аналітично врахувати вплив багатьох факторів). [35]

Екологічні прогнози охоплюють широкі коло областей до біосфери в цілому. Терміни виконання екологічних прогнозів можуть становити від десятків до сотень років. Екологічне прогнозування значною мірою пов'язане з географічними та демографічними прогнозами. [24]

Надійністі екологічних прогнозів також безпосередньо пов'язана з динамікою економічного середовища, що зменшує її. Аналіз прогнозних даних дозволяє вносити певні корективи в господарську діяльність суспільства, корегувати оптимальну взаємодію людського суспільства і навколишнього природного середовища. [34]

Висновок до розділу 1

Результати проведених досліджень дозволяють зробити такі висновки: найбільш успішним напрямом для розв'язання проблем моніторингу НС є застосування безпілотної авіації; на теперішній час у багатьох країнах йде розробка концепцій реального застосування БпЛА в сфері цивільної оборони (цивільного захисту); ефективність застосування безпілотників для прогнозування, попередження та виявлення НС підтверджується результатами якісного та оперативного виконання ними низки різноманітних завдань повітряного моніторингу.

РОЗДІЛ 2. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ

2.1. Аналіз предметної області

На сучасному етапі проблема виникнення лісових пожеж є однією з найактуальніших і найзбитковіших для лісових господарств багатьох країн світу. Вона стосується не лише слабо розвинених країн, а й країн з високим рівнем технічного розвитку.

Щорічно на Землі виникає до 400 тисяч лісових пожеж, що пошкоджують близько 0,5% загальної площі лісів, викидають в атмосферу мільйони тонн продуктів згоряння, забирають сотні життів [11].

За даними міжнародних агенцій у 2017 році через неконтрольовану спеку й необережність людей пожежі в окремих регіонах за своїм масштабом побили багаторічні рекорди. Так, одна із найпотужніших за останні кілька років лісових пожеж охопила Сполучені Штати Америки. Найбільші 30 осередки займань у Каліфорнії, Юті та Аризони – там вогонь знищив біля 20000 гектарів лісу [3].

Пожежники Бурятії декілька місяців намагались локалізувати осередки загоряння. За даними МНС, у зоні пожежі опинились понад дві тисячі гектарів лісу, а в регіоні запроваджено режим надзвичайної ситуації.

Широкомасштабна лісова пожежа спалахнула на Півдні Італії. Горів навіть схил вулкана Везувій. Італійські ЗМІ повідомляють, що частина пожеж – підпали, влаштовані місцевими злочинними угрупованнями, які борються за земельні ділянки або результат необережного поводження туристів з вогнем.

Для України охорона лісів від пожеж також є однією з найскладніших і найактуальніших проблем, що вирішуються працівниками лісової галузі. Щорічно в Україні фіксують близько 25 тис. лісових пожеж на площі 30 тис. га. І ця проблема щороку набуває більшої актуальності, що пов'язане з кліматичними змінами – підвищенням середньорічної температури повітря, а також веденням бойових дій.[13]

На державному рівні вживаються заходи з охорони, захисту, раціонального використання і відтворення ресурсів лісу. Сьогодні у підпорядкуванні Центрального органу виконавчої влади у галузі лісового господарства України – Державного агентства лісових ресурсів (надалі – Держлісагентства) перебуває 73% лісів країни, які служать основою економічної системи лісового господарства та забезпечують

безперервність виконання лісами еколого-економічних функцій (природоохоронних, захисних, санітарно-гігієнічних, оздоровчих, ресурсних) [15].

Звідси випливає основне завдання Держлісагентства – розроблення та організація державних та регіональних програм у сфері охорони, захисту, раціонального використання й відтворення ресурсів лісу [14,16].

Одним із пріоритетних напрямків діяльності у роботі усієї лісової галузі є ведення лісового господарства на засадах збалансованого розвитку, забезпечення охорони лісів від пожеж, зменшення кількості пожеж та мінімізації їх руйнівних наслідків.

Велику роль у цій діяльності відіграють системи та технології моніторингу лісових ресурсів, який є складовою частиною державної системи моніторингу навколишнього природного середовища. Нормативнозаконодавча база моніторингу лісів визначається Лісовим кодексом України, Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про рослинний світ». У відповідності із Положенням про державну систему моніторингу довкілля, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391, на Держлісагентство покладено проведення моніторингу земель лісового фонду, лісової рослинності і мисливської фауни [16].

Україна приєдналася до панєвропейського процесу захисту лісів та підписала Страсбурзьку резолюцію S1 щодо проведення моніторингу лісових екосистем (Резолюція «Європейська мережа постійних ділянок моніторингу лісових екосистем»). Необхідність проведення моніторингу лісів зумовлена потребами виконання низки інших міжнародних зобов'язань 32 0 1000 2000 3000 4000 5000 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 Кількість лісових пожеж, одиниць 0 10000 20000 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 Площа лісових земель, пройдена пожежами, га України, зокрема таких, як Конвенції ООН про широкомасштабне транскордонне забруднення повітря, Конвенція ООН про охорону біологічного різноманіття, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату. Моніторинг лісів в Україні проводиться узгоджено з вимогами Міжнародної Спільної Програми оцінки та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси в регіоні Європейської Економічної

Комісії ООН (UNECE ICP Forests). Законодавством ЄС програма UNECE ICP Forests визначена основною програмою моніторингу лісів, яка охоплює усі країни регіону Європейської економічної комісії ООН (UNECE). Впроваджується програма UNECE ICP Forests [9]. Однак, незважаючи на всі зусилля, як свідчить статистика (Табл. 1.1), лісові пожежі в Україні продовжують завдавати значних збитків [15].

Таблиця 2.1 Статистичні дані про збитки, заподіяні лісовими пожежами

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кількість лісових пожеж, одиниць	3240	2526	2163	1113	2003	3813	1249
Площа лісових земель, охоплена пожежами, га	3668	1049	3479	418	13778	14691	1249
Збитки заподіяні лісовими пожежами, тис.грн	26728,4	3215,9	56062,7	1376,2	51701,8	20164,5	8619,2

Попри наявний арсенал сучасних засобів протипожежного моніторингу та протипожежної охорони лісу, через відсутність можливості вчасного виявлення та знешкодження, лісові пожежі з незначних осередків часто швидко переростають в екологічні катастрофи (рис.1.1), адже при швидкості поширення вогню по фронту 3 м/хв, за сприятливих умов зовнішнього середовища площа лісової пожежі через 2 години після виникнення може зрости в 10 разів [17].



Рисунок 2.1 – Наслідки несвоєчасного виявлення епіцентрів лісової пожежі

Для наочності представлення проведено узагальнення та наведено класифікацію засобів виявлення та ліквідації лісової пожежі у відповідності із класами пожежної небезпеки (Рис. 1.2.): - засоби попередження, моніторингу та раннього виявлення пожежі; - засоби боротьби з пожежею; - засоби інформування про високий – «червоний» клас небезпеки.

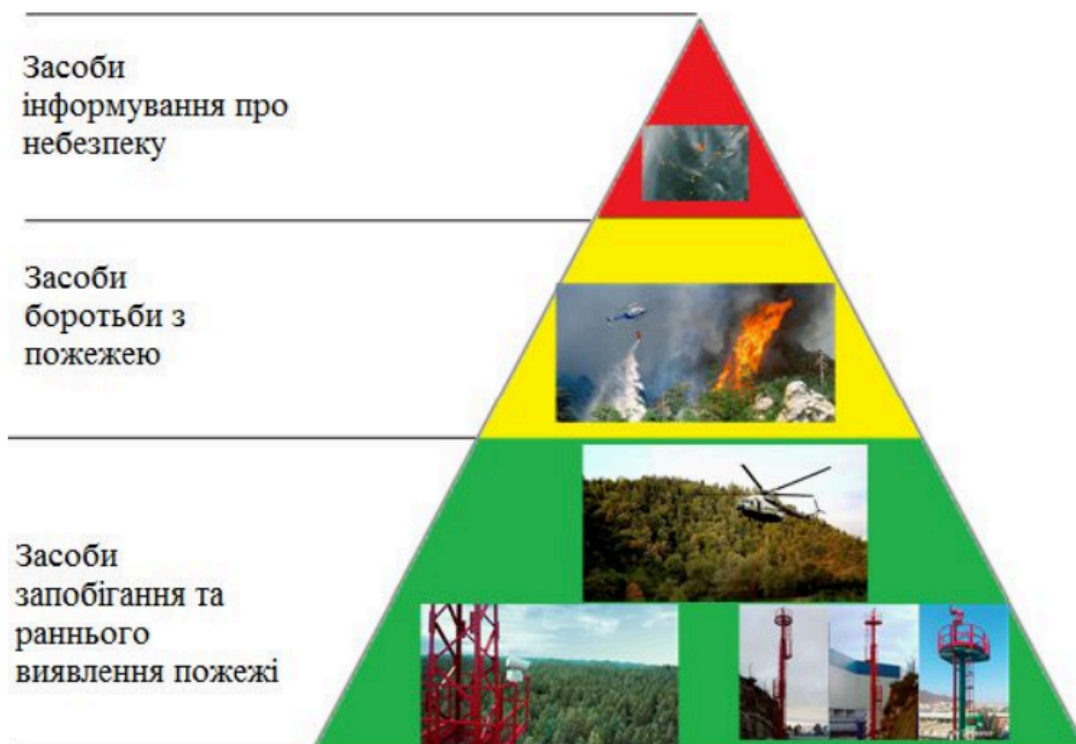


Рисунок 2.2 – Класифікація засобів виявлення та ліквідації лісових пожеж

Як видно з наведеної схеми, в основі технології охорони лісів від пожеж лежать засоби запобігання та раннього виявлення лісових пожеж (перший нижній рівень піраміди). Ефективність їх діяльності є запорукою швидкого реагування аварійних бригад та недопущення переростання епіцентру лісової пожежі в широкомасштабну екологічну катастрофу (другий, третій рівні).

Таким чином, лісовій пожежі легше запобігти, ніж вести боротьбу з нею, залучаючи значні технічні засоби та людські ресурси

Відсутність надійних універсальних засобів розвідки осередків лісових пожеж на ранніх стадіях загоряння призводить до переростання малих осередків в широкомасштабні катастрофи. Тому питання протипожежного захисту лісів сьогодні залишається відкритим та потребує детального вивчення, а наявні інформаційні технології, що не забезпечують в повній мірі вирішення питання раннього виявлення осередків лісових пожеж, підлягають удосконаленню.

Особливо гостро це питання постає під час найбільш засушливого літнього періоду в місцях, на які припадає найбільше рекреаційне навантаження – в приміських лісових масивах, заповідниках, під час етнографічних, пісенних фестивалів, що проводяться на природі, народних гулянь, туристичних зльотів. Для того, щоб учасники таких заходів не стали винуватцями або заложниками лісової пожежі, для особистої та суспільної безпеки, в програму проведення заходів завжди включені вимоги та суттєві обмеження, що стосуються безпечного повождення з вогнем. Так, купуючи квиток на будь-який з численних open-air фестивалів («Polyana Music Fest», Zaxid Fest, «Писанка», «РОК Булава», «Заліщики Фест» тощо), учасник автоматично погоджується з правилами перебування, встановленими на території проведення фестивалю. У випадку порушення цих правил квиток збавтоматично анулюється, а адміністрація залишає за собою право вигнати порушника [10]. Однак, незважаючи на усі заходи безпеки, що впроваджуються організаторами, щорічно спостерігається різке збільшення кількості лісових пожеж у період свят і вихідних днів, коли велика кількість громадян виїжджає в ліс.

Для виявлення і гасіння лісових пожеж у світовій практиці залучаються величезні ресурси, використовуються найсучасніші технології – від супутникового моніторингу і до найсучасніших систем відеоспостереження з елементами комп'ютерного зору, розробленими передовими вченими світу. Так, низка методів раннього виявлення лісових пожеж були реалізовані з 37 використанням сучасних геоінформаційних систем. Це, зокрема, методи на основі підходу «глобального моніторингу», запропонованого Е.Chuvieso, що використовують системи дистанційного зондування Землі, методи мультиспектрального аналізу супутникових знімків, а також методи акустичного та радіоакустичного зондування, що дають змогу здійснювати дистанційні вимірювання температури та теплове зондування конкретної ділянки лісу, описані в дослідженні [18].

Сфери можливого застосування БПЛА проаналізовані у низці досліджень, у яких наводяться основні сфери застосування сучасних БПЛА та виділяють їх переваги [21]. До однієї з основних переваг БПЛА, на думку авторів, належить здатність виконувати завдання автоматично, що не потребує присутності виконавця в небезпечних умовах, спроможність виконувати монотонну роботу, яка потребує певних високофахових навичок і концентрації уваги. Серед додаткових переваг БПЛА порівняно з традиційною та космічною технологіями отримання зображень автори відзначають:

- невелику висоту зйомкою – від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десятки долі сантиметра) на місцевості;
- точковість – можливість детальної зйомки невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;
- високу оперативність – весь цикл, від виїзду на зйомку до одержання результатів, займає декілька годин;

- екологічну чистоту польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

Усі ці особливості та переваги дають змогу використовувати БПЛА за такими трьома напрямками цивільної діяльності:

- для забезпечення безпеки життя;
- в науково-дослідних цілях;
- в комерційних цілях [19,21].

Використання БПЛА в повітряному просторі України не тільки можливе, але й необхідне. Цей факт створює підґрунтя для інноваційного розвитку вітчизняних авіапідприємств, розширення асортименту пропонованих послуг. Визначено, що дистанційно пілотовані дрони можуть виконувати завдання, які пілотовані системи не в змозі вирішити. Вони можуть надавати корисні повітряні комерційні послуги в різних галузях [23]. Зазначено, що застосування БПЛА в цивільному секторі на сьогодні перебуває в очікуванні вирішення деяких технічних та організаційних проблем, без чого неможливе їх стабільне використання. На підставі проведеного дослідження авторами окреслено особливості впровадження БПЛА в діяльність вітчизняних авіапідприємств, уточнено основні напрямки їх застосування в різних галузях економіки, визначено основні заходи з вирішення проблем розвитку цього виду авіапослуг, що в підсумку забезпечує ефективний інноваційний розвиток діяльності авіакомпаній країни [21].

Сучасні малі БПЛА вагою лише у декілька кілограмів вміщаються в рюкзаку і можуть виконувати складні завдання. Ці літальні апарати, розвиваючи швидкість 80–120 км/год та набирючи висоту до 500 м, можуть записувати зображення в якості 4K і передавати його в HD-розширенні. Дальність польоту новітніх масових БПЛА сягає 25 кілометрів. За необхідності вони можуть зависати в повітрі цілодобово. Крила й фюзеляжі БПЛА виготовляються із композитних матеріалів, армованих вуглеволокном. Якісний БПЛА може перебувати в повітрі декілька годин, підніматися на висоту до п'яти кілометрів і долати маршрут завдовжки до 500

кілометрів. На ньому також може бути встановлена система стабілізації, яка дає змогу успішно проводити польоти за швидкості вітру до 20 м/с (70 км/год) [22].

Із сказаного вище можна зробити висновок, що сьогодні відсутні інформаційні системи та технології лісопожежного моніторингу, які б дали змогу без встановлення додаткового високотехнологічного обладнання, лише завдяки розширенню наявних інформаційно-технологічних можливостей стандартних неспеціалізованих БПЛА, власниками яких є індивідуальні користувачі, проводити ефективний протипожежний моніторинг лісу з висоти. Створення такого мобільного інформаційно-технологічного сервісу на основі добровільної соціокомунікаційної ініціативи, доповнить існуючі методи протипожежного моніторингу лісу і допоможе підвищити їх ефективність, оскільки дозволить виявляти лісові пожежі на ранніх стадіях займання і одержувати інформацію про них раніше за офіційні джерела, не потребуючи державного фінансування.

2.2. Моделі, методи, інформаційні технології протипожежного моніторингу лісу

Ефективне функціонування безпілотних літальних апаратів та виконання ними функціональних задач забезпечується комплексом сучасних апаратно-програмних засобів управління, до складу якого входить бортова та наземна апаратура, а також спеціальне програмне забезпечення.

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерофотозйомки, БПЛА повинен розглядатися в сукупності з його оснащенням і корисним навантаженням, для чого введений термін «безпілотна авіаційна система» (БАС).

До корисного навантаження для задач аерофотозйомки належить цифрова фотокамера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, ІК-камера [23].

Під час цифрового опрацювання та передачі цифрових даних в апаратурі БПЛА, виникає широке коло проблем, основною з яких є недосконалість методів і алгоритмів цифрового опрацювання в оптикоелектронних приладах, зокрема проблема опрацювання зображення в реальному масштабі часу. До проблем

застосування цифрового опрацювання відеозображень в апаратурі БПЛА належить також недостатнє забезпечення моніторингу місцевості перспективною апаратурою БПЛА, значні вимоги до каналів зв'язку з БПЛА [24, 25].

Серед широко відомих фотограмметричних технологій опрацювання цифрових даних є програмний комплекс Inpho компанії Trimble. Це повнофункціональна фотограмметрична система, що дає змогу вирішувати широкий спектр завдань, пов'язаних з опрацюванням знімків. Перш за все, реалізована повна підтримка даних, що одержуються за допомогою БПЛА. Наприклад, для БПЛА Trimble UX5 або Trimble X100 в файл проекту Inpho автоматично через конвертор завантажуються знімки, інформація про камеру і дані про орієнтацію камери. Для інших безпілотних літальних систем використовуються стандартні функції імпорту. Вбудовані алгоритми є гарантом отримання надійних результатів навіть оператором без знання фотограмметрії і будь-якого досвіду в опрацюванні даних. У Inpho використовуються ефективні і надійні алгоритми інтерполяції, фільтрації шумів і збурень. Крім того існує можливість редагування і оцифровки структурних ліній, об'єктів тощо в 3D [25].

Недоліком цих алгоритмів є необхідність додаткового опрацювання отриманої інформації.

До сучасних програмних систем, що використовуються для опрацювання цифрових зображень, отриманих з борту БПЛА, належить програма PHOTOMOD UAS.[56] У програмі реалізовані такі основні можливості для опрацювання проектів БПЛА:

- попередня підготовка вихідних знімків;
- внутрішнє орієнтування знімків;
- взаємне орієнтування знімків;
- введення і вимірювання координат опорних точок;
- зовнішнє орієнтування знімків;
- моноекторизація;
- стереоекторизація;
- побудова ЦМР;

- створення ортофотоплану;
- створення цифрової карти місцевості;
- побудова тривимірної моделі міської забудови.

До недоліків роботи з програмою можна віднести те, що при роботі з нею існує обмеження на використання вихідних даних – як вихідні дані можуть використовуватися тільки знімки центральної проекції з розміром не більше 60 МП.

Для споживачів видових даних з борту БЛА актуальним є отримання кольорових і напівтонових чорно-білих зображень з розміром кадру 25 Мпікселів і більше з розрядністю до 12 біт на піксель, а також відеоданих з якістю Full HD 1080p [24]. Стиснені видові дані можуть записуватися в бортовий реєстратор, що потребує їх стиснення зі значеннями коефіцієнта стиснення не менше десяти за умови збереження високої якості стиснених даних. Для забезпечення оперативності доставки стиснені видові дані повинні передаватися по радіоканалах, для яких характерні значна зміна умов радіозв'язку та вплив випадкових і навмисних помилок передачі з різними законами їх розподілу. Це обумовлює необхідність адаптації параметрів стиснених видових даних до швидкості передачі і режимів завадостійкості [25, 26].

У частині реалізації також суттєві труднощі викликає розроблення малогабаритних бортових засобів опрацювання і передачі високошвидкісних потоків стиснених даних за умови мінімізації енергоспоживання.

Одним з сучасних напрямів, який інтенсивно розвивається, є оперативне опрацювання видової інформації, що дає змогу значно знизити ресурси, які витрачаються на постановку задачі для операторів БЛА, а також вирішення задач пошуку і розпізнавання об'єктів для оператора дешифрувальника. До групи зазначених оперативних завдань слід віднести такі: стабілізація відеопотоку; інтелектуальний вибір стоп-кадрів з мінімальним «змазуванням»; супровід рухомого об'єкта з визначенням швидкості і напрямку; селекція руху по відеопотоку; формування комплексного зображення, що відображає маршрут польоту, як правило з невеликого числа зображень; виявлення і розпізнавання об'єктів по 51 відеопотоку і статичним зображенням; планування маршрутів польотів БПЛА [26].

Для забезпечення достатньої якості роботи, яка виражається з одного боку низьким числом помилкових виявлень, а з іншого – мінімальним обсягом пропусків руху за умови роботи в реальному масштабі часу, потрібні значні обчислювальні затрати, для ретельного аналізу відеопотоку на предмет змін між кадрами. Виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці в реальному масштабі часу, без сумніву, є важливим завданням систем комп'ютерного зору.

Для вирішення завдання виявлення і розпізнавання об'єктів на оптикоелектронних зображеннях і в відеопотоці з борту БПЛА, одним з перспективних напрямків також є застосування модельноорієнтованого підходу, оскільки формування представницької навчальної вибірки зображень об'єктів, є досить трудомістким і практично не реалізованим в короткий проміжок часу завданням.

Акустооптичні прилади управління параметрами електромагнітного випромінювання. За допомогою акустооптичних приладів здійснюється управління основними характеристиками оптичного випромінювання – такими, як амплітуда, частота, фаза, поляризація і напрям поширення світлового потоку. Акустооптичні пристрої працюють з монохроматичним світлом, а також і з немонохроматичним випромінюванням, що має суцільний або лінійчатий спектр. [27]

Основною перевагою акустооптичних фільтрів є можливість швидкої електронної перебудови довжини хвилі відфільтрованого випромінювання. До інших переваг фільтрів належать: широкий діапазон електронної перебудови довжини хвилі; робота в реальному масштабі часу; компактність і мала вага; висока надійність, відсутність частин, що переміщуються; висока спектральна розрізнявальна здатність; малі світлові втрати; мале енергоспоживання; можливість селекції випромінювання по поляризації світла; широке поле зору, велика світлосила; можливість довільного доступу до світла, відфільтрованого за довжинами хвиль; можливість багаточастотного режиму роботи; комп'ютерне управління пристроєм; можливість опрацювання оптичних зображень. Беручи до уваги ці особливості роботи акустооптичних фільтрів, можна говорити про перспективність застосування даних приладів в аерокосмічних системах

дистанційного контролю за об'єктами штучного та природного походження. Зокрема, акустооптичні фільтри доцільно включати в комплекс апаратури, яка встановлюється на безпілотних літальних апаратах. Такі літальні апарати можуть здійснювати розвідку і моніторинг поверхні землі, а також стану повітря з метою екології та безпеки для виявлення в навколишньому середовищі отруйних речовин і газів. Також представляється перспективним використання розроблених приладів для вирішення завдань у військовій та спеціальній техніці. До недоліків вказаних приладів можна віднести високу технологічність пристроїв та необхідність додаткового дообладнання ними комплексів, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах.[27,29]

Сучасний світовий тренд в галузі виявлення і розпізнавання полягає в застосуванні згорткових нейронних мереж. Головною перевагою такого підходу в порівнянні з описом просторових ознак, є те, що алгоритм по суті сам знаходить інформативні ознаки. Основне завдання розробника полягає у виборі топології мережі і налаштуванні великої кількості її параметрів [28].

Згорткові нейронні мережі можуть бути застосовані не тільки для розпізнавання об'єктів, але і для їх виявлення. Варто зазначити, що для цього типу класифікаторів і можливості виявлення, необхідною умовою є наявність представницької бази із 172 зображень для навчання. Одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми, крім моделювання, є багаторазове клонування з деформаціями наявних зображень об'єктів [29].

Проведені дослідження показали, що застосування згорткових нейронних мереж для розпізнавання з застосуванням модельних оптичних зображень на сьогодні не є успішним. Основна причина полягає в недостатній дослідженості області комп'ютерного моделювання стосовно задачі формування навчальної вибірки.

Висновки до розділу 2

Аналіз офіційних статистичних даних показав, що небезпека широкомасштабних лісових пожеж в усьому світі залишається високою, що пов'язано з пізнім виявленням осередків лісових пожеж. Переважна їх кількість виникає через масові порушення вимог пожежної безпеки з боку населення, в період найбільшого рекреаційного навантаження на ліси. Для посилення заходів безпеки доцільним є залучення БПЛА індивідуальних користувачів, що у фоновому режимі здійснюватимуть додатковий моніторинг лісу та оповіщатимуть про небезпеку. У результаті аналізу існуючих інформаційних систем та технологій раннього виявлення лісових пожеж було виявлено протиріччя між великою кількістю дороговартісних високотехнологічних протипожежних засобів та значним числом лісових пожеж, які вони не в змозі передбачити та вчасно виявити. Тому залучення додаткових засобів спостереження зможе підвищити ефективність протипожежного захисту лісу.

РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ

3.1. Обґрунтування вибору оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків

Одним із шляхів покращення ефективності функціонування інформаційної системи раннього виявлення осередків лісових пожеж є залучення до моніторингу лісових пожеж БПЛА звичайних користувачів. Передбачається розширити функціональні можливості неспеціалізованих БПЛА таким чином, що в ході виконання своїх вузьких спеціальних завдань (картографічної зйомки, інспекції полів, визначення стану іригаційних споруд тощо, екстрим-зйомки, мас-медіа тощо), вони у фоновому режимі будуть моніторити ліс на предмет пошуку осередків лісових пожеж та, у разі фіксації підозрілих об'єктів, інформувати відповідні служби ДСНС.

Однак однією із особливостей їх застосування є відсутність на борту спеціалізованого технічного обладнання, на кшталт тепловізорів, для автоматичного виявлення осередків запалювання. Зазвичай такі апарати обладнані лише відеокамерою із роздільною здатністю класу HD та FullHD. Пропускна здатність процесора, що опрацьовує відеопотік, в середньому – 60 мегабіт за секунду. При роздільній здатності 4k, 2k та 2,7k (2716x1524) максимально доступна частота кадрів – 30 FPS. Оскільки FullHD-кадр несе в чотири рази меншу кількість інформації, то для формату FullHD доступна вчетверо більша кадрова частота — до 120 FPS. Такі характеристики забезпечують оперативність опрацювання відеопотоків і дають змогу висунути гіпотезу про можливість розширення інформаційно-технічних можливостей сучасних БПЛА без додаткового спеціального відеообладнання для вирішення прикладної задачі пошуку осередків лісових пожеж [30]. Для цього необхідно підвищити інформативність часто зашумлених і нечітких (внаслідок наявності шумів і спотворень у вигляді гілок, переміщення приймача,

турбулентності атмосфери тощо) кадрів, які передаються з борту БПЛА. Це дасть змогу вдосконалити систему протипожежного моніторингу завдяки зменшенню кількості помилок при ідентифікації пожежі в автоматичному режимі. Таким чином, інформаційним ресурсом розробленої нами інформаційної системи є відеокадри, отримані з борту БПЛА, інформативність яких підвищується після опрацювання за допомогою методів цифрового опрацювання зображень [30,31].

Відповідно до поставленої задачі оптимізації процесу розпізнавання осередків лісових пожеж, ми проаналізували задачі цифрового опрацювання зображень, які незалежно від їх типу можна звести до невеликої кількості основних:

1. Фільтрація та покращення візуального сприйняття зображення на тлі завад, які по можливості необхідно послабити.
2. Відновлення втрачених ділянок.
3. Знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні.
4. Оцінка геометричних трансформацій та суміщення зображень.
5. Оцінка параметрів.
6. Стиснення зображень.
7. Правильна передача кольорів по всьому діапазону.

Аналізуючи кадри відеопотоку, отримані в реальних умовах моніторингу лісу (рис. 3.1), ми дійшли висновку про те, що правильна передача кольорів не впливає на швидкість та безпомилковість розпізнавання, а в деяких випадках навіть перешкоджає йому, оскільки кольори шуканого об'єкта та фону можуть збігатися.

У таких випадках доцільним є приглушення одних кольорів і насичення інших, адже поліпшення зображення полягає в зміні його властивостей, яка дає змогу більш комфортно та суб'єктивно сприймати це зображення, а не просто досягнути повної ідентичності з реальним [31].

Проблеми оцінки геометричних трансформацій, суміщення, стиснення зображень в нашому випадку також не є визначальними, оскільки досліджувані зображення отримані за допомогою надійних неперенавантажених каналів передачі даних.



Рисунок 3.1 – Відеокадр, отриманий з борту БПЛА під час моніторингу лісу

Оскільки в запропонованій ІТ остаточне прийняття рішення лежить на людині-операторі, то для підвищення інформативності відеоінформації, що надходить з борту БПЛА, ми праналізували відомі методи сучасної комп'ютерного опрацювання цифрових зображень, що виникли в результаті прагнення створити універсальні і одночасно предметно-адекватні моделі і процедури для різних прикладних задач [33]. Таким чином було розвинуто систему опрацювання цифрових зображень, отриманих з борту БПЛА шляхом комбінування методів, які виявилися найбільш ефективними для вирішення основних задач, які має вирішувати інформаційна технологія в автоматичному режимі.

Вибір оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків, ґрунтується на наведених нижче перевагах та недоліках сучасних методів опрацювання цифрової інформації.

Лінійне контрастування. Зображення, які вводяться у комп'ютер, часто є малоконтрастними. При сприйнятті зображення кількісною оцінкою реакції зорової системи на величину світлового збудження є його контраст – локальний і узагальнений. Тому логічно використати ці кількісні характеристики зображення як основу для побудови методів перетворення зображень з метою підвищення їх візуальної якості та оцінки, незалежної від суб'єктивного сприйняття. Таке перетворення дає змогу підвищити детальність спостережуваної картини в обраному діапазоні яскравостей [32]

Переваги методу: таке перетворення дає змогу підвищити детальність спостережуваної картини; швидкість опрацювання зображень.

Недоліки: підвищення контрастності є одним із глобальних методів, однак використання лише глобальної інформації часто є недостатнім, оскільки глобальні підходи викликають ефект насичення інтенсивності.

Перетворення зображення в негатив – поелементне перетворення зображення, що дає змогу сформувати негатив вихідного зображення [33].

Переваги: таке перетворення підвищує вирізнення білих і сірих деталей на темному тлі. Чим вища яскравість сигналу, тим меншою є насиченість внаслідок більш широкого діапазону спектра відбитого випромінювання. Такий тип опрацювання зображення є особливо ефективним для посилення білих або сірих деталей на фоні темних областей, що покращує візуальне сприйняття, коли темні області мають порівняно великі розміри, зокрема для полегшує аналіз знімків у медицині [32].

Недоліки: Негативне зображення дезорієнтує спостерігача і виключає можливість швидкого безпомилкового виокремлення об'єкта.

Хоча вся інформація про форму залишається незмінною, сильне і неприродне спотворення властивостей пігментації погано розпізнають, отже, людський мозок активно використовує властивості пігментації для розпізнавання.

Ступеневе перетворення (гама-корекція) – гама-кодовані зображення зберігають відтінки більш ефективно. Оскільки гама-кодування перерозподіляє тональні рівні ближче до того, як їх сприймають наші очі, для опису обраного діапазону тонів потрібно менше біт. Однак, гама-кодування ускладнює процес запису і демонстрації зображень в цілому. Кодоване зображення потребує застосування «корекції гама» на етапі перегляду, яка насправді приводить зображення у відповідність з вихідною освітленістю [34].

Кусково-лінійне перетворення: різні діапазони яскравості розтягуються або стискаються за різними законами. Головною перевагою є можливість формування дуже складної функції перетворення.

Недоліки: це перетворення потребує введення великої кількості параметрів, що не завжди зручно. Крім того, функція повинна монотонно зростати і залишатися однозначною для виключення можливості появи помилкових деталей на зображенні.

Виділення меж – межі та краї областей сильно пов'язані, оскільки часто існує значний перепад яскравості на межах областей. Тому методи виокремлення меж використовуються як основа для методів кластеризації.

Недоліки: знайдені краї часто бувають розірваними. Проте для того, аби виділити об'єкт на зображенні, потрібні замкнені межі області. Крім того, перетворення областей зображень у випадку складних контурів потребує додаткового застосування топологічних перетворень [36].

Логарифмічне перетворення. Логарифмічне перетворення змінює яскравість пікселів зображення за логарифмічним законом. Особливість логарифмічного перетворення є здатність стискати динамічний діапазон зображень, які містять значні варіації значень сигналів пікселів .

Переваги: цей метод варто застосовувати у випадках значних перепадів яскравості у межах одного зображення для покращення видимості деталей для візуального сприйняття.

Перетворення гістограм (еквалізація) зображення. Еквалізація гістограми призводить до вирівнювання інтегральних площ рівномірно розподілених по діапазону яскравостей. Одним із методів підвищення контрастності зображення, що дає змогу вирішити проблему покращення візуального сприйняття об'єктів, їх ідентифікації на деякому фоні, а також дає змогу краще оцінити розмір та форму об'єктів, є метод еквалізації (вирівнювання) гістограм. Метою еквалізації є вирівнювання частоти усіх рівнів яскравості по всьому зображенню, а результатом є гістограма, яка відповідає нормальному закону розподілу.

Результат опрацювання вхідного зображення можна описати рівнянням:

$$g(x,y) = T[F(x,y)],$$

де $g(x,y)$ – вихідне зображення, отримане в результаті опрацювання, T – оператор перетворення над $F(x,y)$, який є визначеним у деякому околі точки, $F(x,y)$ – вхідне зображення – кінцева дискретна кількість гістограм.

Головний підхід до визначення просторового околу точки (x,y) полягає у використанні квадратної або прямокутної області з центром в точці (x,y) . Перетворення T застосовується в кожній точці (x,y) . У результаті отримуємо вихідне значення $g(x,y)$ для даної точки. У процесі обчислень використовуються тільки пікселі, розташовані всередині околу з центром, координати якого (x,y) .

Етапи процедури вирівнювання гістограми:

- 1) обчислення гістограми розподілу інтенсивностей елементів зображення;
- 2) побудова нормованої кумулятивної гістограми;
- 3) формування нового зображення.

Таким чином, попереднє перетворення породжує зображення, рівні інтенсивностей якого рівноймовірні і покривають увесь інтервал $[0, 1]$. Результатом процесу еквалізації зображення є збільшення динамічного діапазону рівнів інтенсивностей, що означає підвищення контрастності обробленого зображення.

Розглядаючи метод еквалізації (вирівнювання) гістограм, припустимо, що рівні яскравості на тестових зображеннях є неперервними величинами, розподіленими в діапазоні $[0, 1]$. Нехай $f(x,y)$ – функція щільності розподілу ймовірностей (PDF, probability density function) рівнів яскравості цього зображення. Перетворення вхідних рівнів для отримання вихідних (опрацьованих) рівнів яскравості $g(x,y)$:

$$g(x,y) = T[f(x,y)] = \int_0^1 f(\omega) d\omega$$

$$g(x,y) = T \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix} = \int_0^1 f(\omega) d\omega = \begin{bmatrix} \int_0^1 f_{1,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{1,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{1,N}(\omega) d\omega \\ \int_0^1 f_{2,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{2,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{2,N}(\omega) d\omega \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \int_0^1 f_{M,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{M,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{M,N}(\omega) d\omega \end{bmatrix}$$

де ω – змінна за якою ведеться інтегрування. Таким чином, попереднє перетворення породжує зображення, рівні яскравості якого рівноймовірні і

покривають увесь інтервал $[0, 1]$. Результатом процесу еквалізації зображення є збільшення динамічного діапазону рівнів яскравості, що означає збільшення контрастності опрацьованого зображення [32].

Переваги: гістограмне опрацювання є простою і для програмної, і для апаратної реалізації, тому є зручною для застосування в алгоритмах для опрацювання зображень в реальному часі. Використовуючи інформацію, яка міститься в гістограмі, можна знайти функцію перетворення для досягнення найкращого контрасту для візуального сприйняття, що може бути реалізовано простим обчисленням. Отже, гістограми, як інструмент опрацювання зображення, доцільно використовувати для забезпечення функціонування приладів у масштабі реального часу та для забезпечення автоматизації покращення зображення. Також методи цифрового опрацювання зображень взагалі і опрацювання гістограм зокрема можуть бути здійснені локально, тобто відносно певного елемента зображення. Крім того, зручно знаходити статистичні параметри з локальних гістограм. Локальні математичне сподівання і дисперсію використовують для локального опрацювання зі зміною контрасту, яку доречно застосовувати для зображень, де якість однієї частини задовільна, а інша може містити непомітні одразу деталі. Подібні проблеми постають при розробці приладів, які формують зображення для подальшого сприйняття оператором, або при покращенні знімків у різноманітних галузях.

Поелементне перетворення. У цьому випадку забезпечується незалежне опрацювання за яскравістю і за кольором. Зберігаються характеристики кольоровості зображення. Виділення об'єктів за кольором проводиться з використанням колірних моделей, воно за характером є складнішим, ніж просте виділення за яскравістю, але дає змогу добитися кращих результатів у тих випадках, коли об'єкти з однаковими характеристиками яскравості відрізняються за кольором.

Переваги: можна використовувати інформацію складової ВЧ зображення, що міститься в компоненті насиченості. Перетворення з апаратно-орієнтованого колірною координатного простору в простір, орієнтований на користувача, яким є, зокрема, простір HLS, дає змогу виконувати перетворення над зображенням, не порушуючи балансу білого.

Просторова фільтрація зображень. Просторові методи є простішими для програмної реалізації і мають високу швидкодію, але при цьому є менш контрольованими та характеризуються досить обмеженими можливостями. Оператор просторової фільтрації має лінійну структуру і визначає лінійну згортку околу дослідженої точки з деякою просторовою матрицею або відцентрованою функцією:

$$g(x, y) = \sum_{s=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{t=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} w[s, t] f(x+s, y+t),$$

де m, n - розміри просторового фільтра;

$w[s, t]$ – матриця оператора лінійної згортки;

$f[x, y]$ – початкова яскравість пікселя з координатами $[x, y]$;

$g[x, y]$ – яскравість пікселя після фільтрації.

Як видно з формули, дія оператора визначається і обмежується розміром просторового фільтра та набором апріорно заданих значень матриці згортки. До того ж, потрібно використати деякі додаткові прийоми для опрацювання «країв» зображення.

Дискретне перетворення Фур'є. Пряме двовимірне дискретне перетворення Фур'є перетворює зображення, задане в просторовій координатній системі (x, y) , в двовимірне дискретне перетворене зображення, задане в частотній координатній системі (u, v) .

Найбільш популярним інструментом для частотної фільтрації дискретних обмежених за часом сигналів є дискретне перетворення Фур'є [40]. При застосуванні цього методу реальні значення сигналу намагаються апроксимувати комплексним тригонометричним рядом:

$$f(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} C(n) e^{ink \frac{2\pi}{N}}$$

де N – розмір дискретного сигналу, $C(n)$ – комплексний коефіцієнт при тригонометричних функціях з індексом n , тобто амплітуди при тригонометричних функціях відповідної частоти, $f(k)$ – значення дискретного сигналу у момент часу k .

Для обчислення комплексних коефіцієнтів використовуються інтегральні частотні характеристики всього дискретного сигналу:

$$C(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-ink \frac{2\pi}{N}}$$

Зміст фільтрації полягає в обмеженні набору вагових коефіцієнтів $C(n)$ при відновленні (апроксимації) сигналу $f(k)$.

$$\bar{C}(n) = \begin{cases} C(n), & n1 \leq n \leq n2; \\ 0, & n \notin [n1, n2] \end{cases} ,$$

де $[n1, n2]$ – потрібний діапазон частот для фільтрації. Маніпулюючи параметрами $n1, n2$, можна отримати частотний фільтр з потрібною дією – високочастотний, низькочастотний або смугоподібний фільтр.

Для реалізації частотних фільтрів із використання перетворення Фур'є розроблені швидкодіючі алгоритми, які покращують швидкісні параметри оператора. Обмежене застосування частотних фільтрів на базі дискретного перетворення обумовлено деякими особливостями перетворення. По-перше, для застосування фільтра потрібно мати повний образ сигналу, що неможливо забезпечити при синхронній динамічній фільтрації реальних сигналів. По-друге, за початковим образом отримуємо повний збалансований частотний образ, в якому завжди враховані специфічні локальні характеристики [34].

Вейвлет-перетворення сигналів є узагальненням спектрального аналізу, типовим представником якого є класичне перетворення Фур'є. Це перетворення так само, як і перетворення Фур'є, є комплексним .

Технологія використання вейвлет-перетворення пов'язана з можливістю розпізнавання локальних особливостей зображень шляхом видалення шумів, присутність яких є однією із основних проблем в умовах зйомки лісових пожеж

Однак, порівняно з перетворенням Фур'є, вейвлет-перетворення має беззаперечні переваги при опрацюванні складних сигналів, оскільки на відміну від звичайних спектральних перетворень, дає змогу з однаковою точністю апроксимувати як гладкі функції, так і функції з різкими випадками, та визначати незначні об'єкти. Оскільки вейвлет-перетворення представляє собою згортку сигналу зображення з вейвлет-функцією, що зміщується відносно координат, цей метод близький за змістом до методів на основі фільтрації. Завдяки тому, що вейвлети працюють як з частотними, так і з просторовими характеристиками сигналів і здатні представляти їх локальні особливості, вейвлет-перетворення можна застосовувати для аналізу тонких особливостей складних сигналів і зображень, стиснення зображень та очистки їх від шуму. Крім того, попереднє вейвлет-опрацювання значно зменшує кількість вхідної інформації, що важливо для роботи в режимі реального часу [37].

Під час опрацювання цифрових зображень вейвлетне перетворення реалізується в такій послідовності:

1. Обчислюється двовимірне вейвлетне перетворення зображення.
2. Вносяться зміни в коефіцієнти перетворення.
3. Обчислюється обернене вейвлетне перетворення.

Опис прямого і оберненого дискретного вейвлет-перетворення $G(u,v,\dots)$ отриманого при попередньому опрацюванні зображення $g(x,y)$ розмірами $M \times N$ наведено в [16]. Його можна виразити таким рівнянням:

$$G(u, v, \dots) = \sum_{x,y} g(x, y) j_{u,v,\dots}(x, y)$$

де x, y – просторові змінні, а u, v, \dots - змінні в перетвореній області. Знаючи $G(u,v,\dots)$, за допомогою узагальненого дискретного перетворення можна побудувати функцію $g(x, y)$:

$$g(x,y) = \sum_{u,v,\dots} G(u,v,\dots) h_{u,v,\dots}(x,y)$$

Члени (\dots) , \dots j x u v та $\dots(\dots)$, h x u v – прями та обернені ядра перетворення. Вони визначають природу, обчислювальну складність та практичну користь цієї пари перетворень. Коефіцієнти перетворення $G(u,v,\dots)$ – коефіцієнти розкладання функції g в ряд по h $\dots(x, y)$ u,v . Ядро оберненого перетворення визначає множину функцій розкладання для розкладання в ряди функцій $g(x,y)$ [77-80].

Недоліки: під час вейвлет- опрацювання зображень слід враховувати, що попереднє опрацювання підвищує ступінь схожості первинних та синтезованих зображень, а для підвищення інформативності зображень слід використовувати вейвлети Добеші високих порядків, наприклад, четвертого порядку, бо порівняно з вейвлетами Добеші першого порядку їх використання забезпечує найкращі показники інформативності синтезованих зображень [38].

Наступний метод опрацювання цифрових зображень – **кластеризація**, необхідність якої виникає під час аналізу зображень і полягає в розділенні пікселів зображень на групи (кластери) за ступенем «схожості».

У задачах кластеризації відбувається віднесення об'єкта до одного з заздалегідь визначених класів. Розподіл об'єктів за кластерами здійснюється при одночасному формуванні кластерів. Кластеризація дає змогу згрупувати подібні дані, що полегшує вирішення ряду задач Data Mining: вивчення даних, полегшення аналізу [38].

Результатом визначення кластерів і розбиття за ними даних є створення підсумкової моделі даних. Великої популярності при вирішенні задач кластеризації набули алгоритми, засновані на пошуку оптимального розбиття множини даних на кластери. Ці алгоритми намагаються згрупувати дані в кластери таким чином, щоб цільова функція алгоритму розбиття сягала екстремуму (мінімуму). Найбільш популярним алгоритмом кластеризації такого типу є алгоритм k -середніх

Алгоритм k -середніх (k -means). Ідея методу полягає у визначенні центрів k кластерів та віднесення до кожного кластера об'єктів, що найбільш близько розташовані до цих центрів.

Метрика відстані загалом має вигляд:

$$d_A^2(m_{j,c}^{(i)}) = \left\| m_{j,c}^{(i)} \right\|_A^2 = \left(m_{j,c}^{(i)} \right)^T A \left(m_{j,c}^{(i)} \right),$$

де матриця A визначає спосіб обчислення відстані.

Алгоритм k -середніх, також званий швидким кластерним аналізом, є найбільш поширеним серед неієрархічних методів. На відміну від ієрархічних методів, що не потребують попередніх припущень щодо числа кластерів, для можливості використання цього методу необхідно мати гіпотезу про найбільш ймовірну кількість кластерів.

Алгоритм k -середніх буде k кластерів, розташованих на можливо великих відстанях один від одного. Основний тип завдань, які вирішує алгоритм k -середніх – наявність припущень (гіпотез) щодо числа кластерів, і при цьому вони повинні бути різні настільки, наскільки це можливо. Вибір числа k може базуватися на результатах попередніх досліджень, теоретичних міркуваннях або інтуїції.

Загальна ідея алгоритму: задане фіксоване число k кластерів спостереження зіставляються кластерам так, що середні в кластері (для всіх змінних) максимально можливо відрізняються один від одного.

Переваги алгоритму k -середніх: простота використання, швидкість використання, зрозумілість і прозорість алгоритму.

Недоліки алгоритму k -середніх: алгоритм занадто чутливий до викидів, які можуть спотворювати середнє. Можливим вирішенням цієї проблеми є використання модифікації алгоритму – алгоритму k -медіани. До недоліків алгоритму k -середніх можна віднести і те, що він повільно працює на великих базах даних. Можливим вирішенням цієї проблеми є використання вибірки даних.

У контексті розглянутої задачі, метод передбачає вибір фіксованої множини геометричних «центрів» областей і «протягування» до даних центрів інших точок зображення, яскравість яких відрізняється від яскравості вибраних точок менше за задане порогове відхилення.

Нейромережеві методи забезпечують швидке і надійне розпізнавання зображень. Легкість побудови програмних і апаратних моделей роблять ці мережі

привабливими для багатьох застосувань. Невисока ємність мереж (кількість запам'ятовування образів) пояснюється тим, що мережі не просто запам'ятовують образи, а дають змогу їх узагальнювати, наприклад, за допомогою мережі Хеммінга можлива класифікація за критерієм максимальної правдоподібності [39].

Навчання позбавляє необхідності вибирати ключові ознаки, їх значимість і відносини між ознаками. Але все ж вибір вихідного представлення вхідних даних (вектор в n -мірному просторі, частотні характеристики, вейвлети тощо), істотно впливає на якість рішення і є окремою темою. Нейронні мережі мають хорошу узагальнюючу здатність, тобто можуть успішно поширювати досвід, отриманий на кінцевому навчальному наборі, на безліч образів.

Розроблені нейромережеві модулі використані для створення системи пошуку інформації, яка самостійно будує модель інтересів користувача і з поточної інформації вибирає таку, що найбільше його цікавить .

Нейромережеві методи забезпечують швидке і надійне розпізнавання зображень

Одна з переваг нейронних мереж, яка є також і недоліком при реалізації їх на послідовній архітектурі, – це те, що всі елементи можуть функціонувати паралельно, тим самим істотно підвищуючи ефективність вирішення завдання, особливо при опрацюванні зображень. Крім того, що нейронні мережі дають змогу ефективно вирішувати багато завдань, вони надають потужні гнучкі та універсальні механізми навчання, що є їх головною перевагою перед іншими методами (імовірнісні методи, лінійні роздільники, вирішальні дерева тощо). Навчання позбавляє необхідності вибирати ключові ознаки, їх значимість і відносини між ознаками. Але все ж вибір вихідного представлення вхідних даних (вектор в n -мірному просторі, частотні характеристики, вейвлети тощо), істотно впливає на якість рішення і є окремою темою. Нейронні мережі мають гарну узагальнюючу здатність (кращу ніж у вирішальних дерев), тобто можуть успішно поширювати досвід, отриманий на кінцевому навчальному наборі, на всю множину образів [39].

Недоліки: відбувається нове підвищення складності об'єктів опрацювання інформації, з якими людина може впоратися лише шляхом підвищення рівня

інтелектуалізації технічних засобів. При застосуванні цих методів до зображень тривимірних об'єктів виникають труднощі, пов'язані з просторовими поворотами і зміною умов освітленості [41].

Метод оптичної голографічної асоціативної пам'яті придатний для виявлення малих змін в об'єктній сцені, що важливо, зокрема, при ранній реєстрації лісових пожеж. Цей метод доцільно застосовувати у випадку неповних спотворених зображень – зокрема, зображення осередків пожеж. У ході реалізації цього методу автори показали можливість фізичного моделювання процесу розпізнавання складних образів та їх відновлення за асоціативним принципом. Детектування й локалізація змін здійснюється за перепадом інтенсивності по полю зображення (ефект інверсії яскравостей у фантомному зображенні безопорної голограми): яскравість зображення зміненої ділянки виявляється вищою, причому тим більшою, чим менші зміни у порівнянні з еталонним зображенням [42].

Переваги: фізичне моделювання процесу розпізнавання складних образів та їх відновлення за асоціативним принципом дає можливість:

- 1) відновлення цілого за його фрагментом;
- 2) виявлення помилок на зображенні (за перепадом контрасту);
- 3) асоціативне відновлення відбувається з «Корекцією помилок».

Причому як амплітудних помилок (втрата частини інформації), так і фазових помилок (втрата контрасту). Крім того, можливе відновлення зображення і при цьому підвищення його контрастності.

Оператор при розпізнаванні здійснює реконструкцію зображення, відновлює його за спотвореною або неповною версією. Це суттєво при виявленні початкової стадії пожежі, коли різниця між яскравостями та контрастом тла і осередку пожежі є малою.

У випадку спроби відновлення інформації голографічним методом між джерелом опромінення та об'єктом немає необхідності розміщувати складні установки, адже передача відбувається у вільному просторі.

Недоліки: основною проблемою широкого застосування голографічної асоціативної пам'яті є розроблення належної технології оптичних матеріалів, яка

була б достатньо гнучкою і для створення архівів (постійної) пам'яті і для опрацювання даних в реальному часі [43].

LIDAR-технологія (Light Detection and Ranging) – технологія, суть якої полягає в отриманні даних про віддалені предмети за допомогою опрацювання сигналу відбитого світла. Як джерело світла використовується лазер, головними властивостями якого є когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання. Поверхня землі знімається з літака, що летить на висоті близько 2,5 км. Щільність отриманих даних – 1 точка на 2,5 метрів. Похибка в точності отримання даних не перевищує 10–12 см. Системи є достатньо продуктивними – вимірювання проводяться зі швидкостями від 10 000 до 80 000 лазерних імпульсів на секунду. Застосування LIDAR – технології в системах протипожежного моніторингу лісів забезпечує точність цифрової моделі рельєфу місцевості, що дає змогу виявити найменші вигорілі ділянки лісу. На відміну від пасивних інфрачервоних систем, які розпізнають тільки теплові аномалії, LIDAR виявляє дими за аномаліями, що породжуються частками горіння, зміною хімічного складу та прозорості повітря і з успіхом може бути використаний для раннього визначення та оповіщення про лісові пожежі. Технологія з радіусом виявлення димів в 20 км була вперше заявлена у 1990 р., активний пошук оптимальних конфігурацій систем ведеться і в наш час [27].

До недоліків систем на основі LIDAR-технологій слід віднести їх високу технологічність та дороговизну. Крім того, інфрачервоні лазери, що використовуються в багатьох системах LIDAR, не проникають крізь туман або дощ, а інформація, отримана за допомогою цих систем, потребує додаткового опрацювання [44].

Отже, можна прийти до висновку, що не існує одного конкретного математичного методу, який дасть змогу вирішити всі поставлені завдання. Для зручності аналізу всі розглянуті методи були консолідовані в таблицю 3.1 із зазначенням переваг та недоліків кожного за такими критеріями:

- збільшення яскравості та контрасту;
- фільтрація;
- відновлення втрачених ділянок;

- знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні;
- правильна передача кольорів по всьому діапазону;
- оцінка геометричних трансформацій та суміщення зображень;
- оцінка параметрів;
- стиснення зображень.

Таблиця 3.1. Основні методи комп'ютерного опрацювання зображень, що використовуються з метою покращення якості сприйняття

Основні методи комп'ютерного опрацювання зображень, що використовуються з метою покращення якості сприйняття людиною		Чи забезпечують перелічені методи вирішення основних задач розпізнавання людиною-оператором об'єктів на аерофотознімках							
		Збільшення яскравості та контрасту	Фільтрація	Відновлення втрачених ділянок	Знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні	Правильна передача кольорів	Оцінка геометричних трансформацій та суміщення зображень	Оцінка параметрів	Стиснення зображень
Перетворення яскравості	Лінійне контрастування	+	-	-	+	-	+	+	-
Перетворення яскравості та просторова фільтрація	Перетворення зображень в негатив	+	-	+	-	-	-	-	-
	Виділення меж	+	-	-	+	-	+	-	-
	Перетворення гістограм (еквализація)	+	-	-	+	+	+	-	-
	Просторова фільтрація	+	+	-	-	-	-	+	-
	Логарифмічне перетворення	-	-	-	+	+	+	-	-
	Поелементне перетворення	-	-	-	+	+	-	-	-
Опрацювання в частотній області. Частотна фільтрація зображень	Дискретне перетворення Фур'є	+	+	+	+	-	-	+	+
	Вейвлет-перетворення	-	+	+	+	+	+	+	+
	Низькочастотна фільтрація	-	+	-	+	-	-	-	+
	Високочастотна фільтрація	-	+	-	+	-	-	-	-
	Кластеризація	-	-	-	+	-	+	+	-
	Нейромережеві технології	+	-	-	+	+	+	+	-
	Метод оптичної голографічної асоціативної пам'яті	+	-	+	+	+	+	+	-
	LIDAR-технології	-	-	-	+	+	+	+	-

У результаті попереднього аналізу методів опрацювання цифрових зображень, а також з урахуванням психофізичних властивостей людського зору, з цілого ряду задач розпізнавання ми виокремили ті, розв'язок яких призведе до суттєвого підвищення інформативності знімків в умовах спостереження за лісовими пожежами. Оскільки досліджувані знімки містять значні завади та шуми у вигляді диму та хмар, турбулентностей атмосфери, складних рельєфів, а також отримані в нестабільних умовах зйомки, збоїв передачі сигналу, що може призводити до втрати важливих інформативних фрагментів, то основними задачами опрацювання є підвищення контрастності, фільтрація, відновлення втрачених ділянок, їх

ідентифікація на деякому фоні. В окремих випадках може бути корисним знаходження та оцінка геометричних параметрів об'єктів.

Правильна передача кольорів по всьому діапазону не впливає на швидкість та безпомилковість розпізнавання, а іноді навіть перешкоджає йому, оскільки кольори шуканого об'єкта та тла можуть збігатися. У такому разі доцільним є приглушення одних кольорів і насичення інших, адже поліпшення зображення полягає в зміні його властивостей, яка веде до більш комфортного суб'єктивного сприйняття цього зображення, на відміну від досягнення повної ідентичності з реальним.

Проблема оцінки геометричних трансформацій, суміщення, стиснення зображень у нашому випадку також не є визначальними, оскільки досліджувані зображення отримані за допомогою надійних неперевантажених каналів передачі даних. Таким чином, нами був визначений перелік основних задач, які має вирішувати запропонована інформаційна технологія в автоматичному режимі.

У відповідності із поставленими задачами, були обрані методи, використання яких дозволяє їх вирішити, тобто досягти максимального ефекту підвищення інформативності цифрових зображень в заданих умовах. Як видно з таблиці 3.1., досягнення цього ефекту можливе лише шляхом комбінації декількох математичних методів. Зокрема, послідовним використанням таких математичних методів: підвищення контрастності зображення (К), вейвлет-перетворення (В), кластеризація (Кл). Послідовне використання зазначених методів дасть змогу розв'язати всі вищенаведені задачі. Однак вони потребують вдосконалення та адаптації з урахуванням мультиплатформних та апаратних характеристик пристроїв керування БПЛА. Надалі, в ході дослідження, ефективність кожного з обраних методів та їх комбінацій була перевірена експериментально.

3.2. Дослідження інформаційно-технічних характеристик безпілотних літальних апаратів

Розширення інформаційно-функціональних можливостей БПЛА, що здійснюють моніторинг у фоновому режимі, дасть можливість без використання додаткового обладнання, шляхом розподілу наявних ресурсів (працюють лише

відеокамери, що входять до базової комплектації) здійснювати додатковий протипожежний моніторинг лісів, що є особливо актуальним в період найбільшого рекреаційного навантаження – під час пісенних фестивалів, спортивних змагань, туристичних походів, основними учасниками яких є молодь, що прагне новітніх розваг, в тому числі– власники та активні користувачі БПЛА. Передбачається розширити функціональні можливості БПЛА таким чином, щоб паралельно до виконання своїх вузьких спеціальних завдань (розваги, екстрим-зйомка, репортажі про хід фестивалю, спортивні змагання тощо), вони у фоновому режимі могли б здійснювати протипожежний моніторинг лісу та, у разі фіксації осередків пожежі, надсилати сигнал про небезпеку до відповідних служб ДСНС, створюючи фактично мобільний пункт додаткового спостереження.

Для визначення сегменту можливих залучених БПЛА було проаналізовано та визначено набір тих технічних характеристик, необхідних для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу лісу.

На БПЛА покладається завдання повітряної розвідки епіцентрів лісових пожеж і передача сигналу про небезпеку. Відповідно до поставлених задач, до БПЛА та пристроїв мобільного керування висуваються такі вимоги: апарат має бути швидким, маневреним, мати можливість протистояти вітру, значний радіус польоту і бути відносно недорогим, можливість повернення на точку запуску у разі втрати управління; визначення місця знаходження по GPS; зависання на місці для фотозйомки; можливість обминати перешкоди; передача відео в реальному часі з можливістю запису на ноутбук, планшет або мобільний телефон. Основні інформаційно-технологічні характеристики сучасних моделей БПЛА наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 Основні інформаційно-технологічні характеристики сучасних моделей БПЛА

Характеристики \ Модель	DJI Phantom 2 Vision+	DJI Phantom 4	Typhoon Q500	Flying 3D X6 Plus 5.8G FPV, FreeX MCFX	DJI Inspire 1 v2.0	Parrot Drone3.0 RC
Час польоту (хв)	25	28	25	25	20	15
Дальність передачі даних від оператора управління (км)	1	5	4	5	5	2
Частота Wi-Fi (ГГц)	2,4	2,4	2,4	2,4; 5	5	2,4; 5
Максимальна швидкість	54 м/с	72 км/год	50 км/год	100 км/год	79 км/год	75
Висота (м)	500	500	400	500	50	200
Якість відеозапису	1080p	4K (або 1080p)	1080p	1080p	4K (або 1080p)	1080p
Якість передачі відео	720p	720p	1080p	1080p	720p	720p
Частота (кадрів за секунду)	30	30 (або 120)	60	24–60	24 – 30 (або 24–60)	30
Фото (Мп)	12	12	12	12	14	14

Сьогодні безпілотні літальні апарати можна поділити на 3 групи: мініБПЛА, БПЛА із середнім та великим радіусом польоту.

Основні характеристики міні- БПЛА: Тривалість польоту може варіюватися від 3 до 10 хвилин. Цей показник є надмірно коротким, однак користувач має справу з компактним і дуже зручним пристроєм. Другий важливий момент стосується відстані, на яку діє пульт дистанційного управління безпілотним літальним апаратом. Тут показники теж не є великими – стандартний міні- БПЛА підтримує зв'язок на відстані 40–50 м. При цьому трапляються апарати, керовані і на 20 м, і на 80 м, що для цього класу є це максимальною дальністю керування. Наступна важлива характеристика – це час зарядки. Він може становити до 1 год, але в більшості випадків варіюється в діапазоні 30–40 хв. І ще один важливий параметр – це габарити. Суворих обмежень для сегменту міні-БПЛА немає, тому розміри можуть дуже різнитися. Наприклад, є моделі з зразковими параметрами 4x4x25 см, а є апарати вдвічі більші.

Стосовно функціональності і можливості відеозйомки, то загалом БПЛА, є високотехнологічними пристроями, тому й набір функцій у них постійно

розширюється. З останніх доповнень варто виділити наявність акселерометра і гіроскопа, кілька режимів швидкісного обертання гвинтів, осьову стабілізацію і здатність виконання 3D-трюків. Найбільш привабливим опціоналом вважається відеокамера, за допомогою якої користувач може фіксувати «картинку», доступну для огляду самим дроном. Зрозуміло, міні-БПЛА не в змозі забезпечити високоякісне фото- і відеозображення відмінної якості, хоча певні технічні досягнення в цьому напрямку. Сьогодні представники початкового класу забезпечуються модулями на 0,3 Мп, але в старших версіях все частіше з'являються камери на 2 Мп і більше. Також є спроби реалізувати можливість прямої трансляції, але в цьому випадку збільшуються і габарити БПЛА.

Отже, можна зробити висновок, що функціонал міні-БПЛА не дасть змоги наразі вирішити задачі пошуку осередків пожеж у фоновому режимі. Тому залучення таких апаратів до запропонованої ІТ є сумнівним.

Основні характеристики БПЛА середнього радіусу дії: У середньому такий безпілотний літальний апарат має довжину 25 см. Висота стандартної моделі дорівнює 10 см. Гвинти використовуються різного діаметра. У цьому випадку багато залежить від потужності двигуна. Також до стандартної комплектації БПЛА входять акумулятори. Залежно від їх ємності змінюється час польоту. Радіус дії пристрою в середньому становить 3000–3500 метрів. Приймачі використовуються як низької, так і високої частоти. Для відправки сигналу на пульт застосовується передавач. Камери моделей встановлюються на 2 і 4 Мп.

До найбільш популярних слід віднести:

1) Syma X5SW

Технічні характеристики: управління через радіоканал, дальність управління до 150 м. Акумулятор ємністю 500 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 5,5 хв. Вага – 1216 г. Камера зовнішня в комплекті, розширення матриці – 2 Мп, роздільна здатність відеозйомки – 720р.

2) DJI Phantom 3 Standard

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м / с, вбудований датчик GPS, управління через радіоканал, є

функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 1 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 25 хв. Вага – 1216 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12 мп, кут огляду 94 °, роздільна здатність відеозйомки – 1080p, роздільна здатність фотозйомки 4000x3000.

3) DJI Phantom 3 Professional

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 2 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 23 хв. Вага – 1280 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці – 12,4 мп, кут огляду 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4K (2160p), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.

4) DJI Phantom 4

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, система ухилення від перешкод, дальність управління – до 3,5 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 5350 мА·год дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 28 хв. Розміри: 289,5x289,5x196 мм, вага – 1380 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12,4 Мп, кут огляду – 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4K (2160p), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.

5) DJI Phantom 4 Pro

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління – до 3,5 км, Wi- Fi. Акумулятор ємністю 5870 мА дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 30 хв. Вага – 1388 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 20 мп, кут огляду 84°, роздільна здатність відеозйомки – 4K (2160p), роздільна здатність фотозйомки – 5472x3648.

Основні характеристики дронів великого радіуса дії: Як правило, такі дрони мають розбірну конструкцію, на відміну від дронів середнього радіуса дії, та дають змогу модифікувати дрон до потреб конкретного користувача. Їх класифікують за потужністю:

- Моделі на 2 кВт

Рама БПЛА складається із трьох стійок. Двигун встановлюється в середній частині пристрою. Передавачі для моделі застосовуються тільки 2Гц. Рама має довжину не більше 22 см. Для стабілізації пристрою в польоті застосовується демпфер із датчиком висоти Камера у моделі кріпиться на кронштейні

- Моделі з мотором на 3 кВт

У цих дронах двигун встановлюється на підкладці. Найчастіше використовується датчик висоти конденсаторного типу. Частота роботи приймача – 3 Гц. Для стабілізації моделі в польоті використовується стабілітрон. Фюзеляж складається із пластикової рами на чотири стійки. Довжина становить близько 23 см. Висота польоту БПЛА при потужності мотор двигуна 3 кВт дорівнює не більше 12 см. Ємність акумуляторів не перевищує 200 А·год

- БПЛА на 5 кВт

Зібрати БПЛА 5 кВт з великим радіусом дії досить складно. Приймачі для них підходять тільки дротяного типу. Камера в цій моделі розташовується під двигуном. Кронштейн для неї підбирається поворотного типу.

БПЛА з великим радіусом дії і камерою FPV на три стійки зустрічаються дуже часто. Мотори для зазначених пристроїв підбираються невеликої потужності. Для стабілізації пристрою в польоті встановлюється селектор.

БПЛА на чотири гвинта з камерою FPV, яка кріпиться на пластиковому каркасі. Діаметр гвинтів становить близько 33 см. Двигун використовується на 22 кВт. Гранична частота приймача не повинна перевищувати 3 Гц.

До найбільш популярних моделей великого радіуса дії слід віднести: моделі Yuneec Turphoon Q500 4K, обладнані камерою 4K, тривалістю польоту 25 хвилин, дальністю керування – до 800 метрів. Система FPV надає оператору можливість в режимі реального часу переглядати зображення, які захоплює камера. До цього класу

квадрокоптерів належать також дрони DJI Mavic Air, DJI Mavic Pro, DJI Mavic 2, DJI Phantom 4 Pro, DJI Phantom 4 Advanced. Усі вони обладнані камерами 4К, системами FPV, час їх польоту становить від 20 до 30 хвилин, дальність керування – від 1 до 8 км.

Проведений аналіз технічних характеристик БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальний набір технічних характеристик, необхідних для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу. Для реалізації запропонованої технології підходять БПЛА середнього та великого класів, оскільки їх технічні характеристики, дають змогу використовувати їх для розв’язку поставлених задач.

3.3. Алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації лісових пожеж на базі БПЛА

Згідно із завданням дослідження було розроблено алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації лісових пожеж на базі БПЛА . Блок схема алгоритму наведена на рис 3.1:

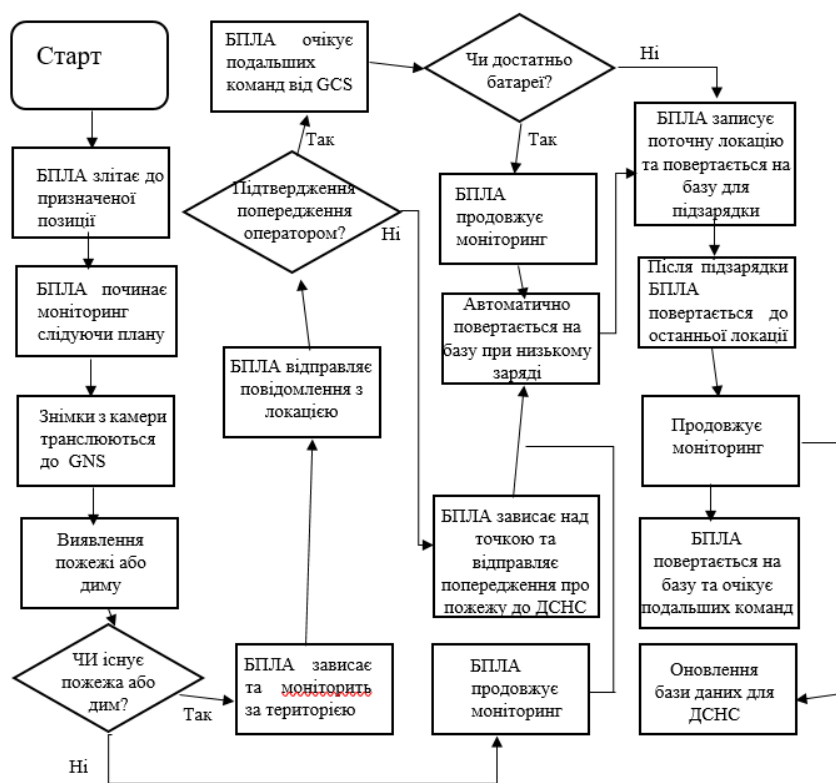


Рисунок 3.2 Блок схема алгоритму функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії тепломагістралі або лінії електропередач на базі БПЛА

У даній системі після планування місії на наземній станції управління БПЛА злітає зі своєї автоматичної зарядної станції для пожежної перевірки та може летіти назад до зарядної станції для автономної зарядки.

Тепловізор і камера видимого світла дрона знімають зображення лісу в реальному часі. Модуль передачі даних передає потік інфрачервоного зображення та потік зображення у видимому світлі до модуля обробки даних, реалізованого на наземній станції керування, який використовує детектор полум'я та диму на основі глибокого навчання для виявлення полум'я та диму.

Перевірка проводиться відповідно до запланованого маршруту перевірки, доки не буде виявлено полум'я або дим. Якщо в отриманому інфрачервоному кадрі виявлено аномалію, яка розпізнається як полум'я або дим на певній кількості кадрів у потоці зображення, які тривають кілька секунд, спливаюче повідомлення про сповіщення постійно надсилається черговому персоналу лісового відділу, доки не буде виконуватися ручне підтвердження. Якщо це штучно визначено як пожежа, система автоматично повідомляє пожежну службу про наявність пожежної тривоги в місці розташування дрона та надсилає команду безпілотнику постійно зависати навколо та контролювати місце пожежі, щоб надавати зображення в режимі реального часу та географічну інформацію для пожежників, щоб вони могли виконувати порятунок. Сигналізація буде скасована, якщо штучно буде встановлено, що це не пожежа.

Якщо протягом 5 хвилин після початку тривоги не буде ручного підтвердження, про пожежну тривогу буде повідомлено безпосередньо в пожежну частину, і дрон буде постійно стежити за місцем пожежі.

Дані щоденної перевірки БПЛА збираються в базу даних пожежної небезпеки на основі геоінформаційної системи, яка відображає історичні дані та випадки пожеж у цікавих лісових масивах щомісяця, що може надати довідку для лісового господарства, пожежної охорони та інших відомств для здійснення оцінки пожежної небезпеки та запобігання пожежам.

Для дуже великих лісових масивів система може приймати зграї БПЛА. Рекомендується використовувати програмне забезпечення для планування місії, щоб

розділити зону інспекції та призначити їх БПЛА, а БПЛА будуть проводити безперервну інспекцію виділеної території відповідно до запланованого шляху.

Висновок до розділу 3

Досліджено основні математичні методи комп'ютерного опрацювання зображень, отриманих з борту БПЛА, що дало змогу обґрунтувати вибір множини найбільш ефективних методів що можуть служити основою для ІТ пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі.

Проведений аналіз технічних характеристик БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальні вимоги, необхідні для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу. Було встановлено, що для най ефективнішої реалізації протипожежного моніторингу лісів слід використовувати БПЛА середнього та великого класів, технічні характеристики яких дають змогу застосовувати їх для вирішення поставлених завдань. А Запропонований алгоритм функціонування БАК дозволять покращити ефективність у протипожежному моніторингу.

РОЗДІЛ 4. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ. МЕТОД ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Система Безпілотного Авіаційного Комплексу є складною. Для аналізу системи, як складної системи, застосовуються методи:

- Системного аналізу
- Декомпозиції і агрегування
- Метод експертних оцінок.

Продуктом систем типу «людина – машина» є рішення, яке приймає людина-оператор (Л-О). Тому дуже важливо розглядати Л-О теж як складну підсистему у складі загальної ергатичної системи, яка має всі властивості складної системи:

- емерджентність;
- синергетика;
- вкладеність;
- наявність загальної цілі функціонування, яка домінує над цілями функціонування складових системи;
- відсутність повної інформації про систему в цілому у будь-якого з компонентів;
- нелінійність відношень між компонентами, внаслідок чого незначний збурювальний вплив може викликати помітний ефект, і, навпаки, значний впливальний імпульс може бути не результативним; наявність зворотних зв'язків як позитивних, так і негативних;
- відкритість;
- взаємодія із зовнішнім середовищем в умовах невизначеності факторів впливу на складові системи і мінливості стану зовнішнього і внутрішнього середовищ тощо.

Доцільним є ввести окрім поняття функціональної стійкості, що розглядає, насамперед, відмовостійкість технічної частини ЕС, враховувати надійність Л-О за рахунок введення нового поняття як ергатична стійкість, яке повинне досліджувати окрім технічної частини і людські ресурси. Під ергатичною стійкістю розуміється

забезпечення функціонування ЛМС в заданих межах при впливі факторів внутрішнього і зовнішнього середовища в позаштатних польотних ситуаціях, тобто ергатична стійкість полягає у здатності Л-О виконувати встановлений обсяг своїх функцій у випадках відмов. Для оцінювання ефективності складної системи використовуємо метод експертних оцінок.

Метод експертних оцінок

Після проведення опитування групи експертів здійснюється обробка результатів. Початковою інформацією для обробки є числові дані, що виражають переваги експертів, і змістовне обґрунтування цих переваг. Метою обробки є отримання узагальнених даних і нової інформації, що міститься в прихованій формі в експертних оцінках. На основі результатів обробки формується вирішення проблеми. Наявність, як числових даних, так і містовних висловлювань експертів призводить до необхідності застосування якісних і кількісних методів обробки результатів групового експертного оцінювання. Питома вага цих методів істотно залежить від класу проблем, що вирішуються експертним оцінюванням.

Залежно від цілей експертного оцінювання і вибраного методу виміру при обробці результатів опитування виникають наступні основні завдання:

- 1) побудова узагальненої оцінки об'єктів на основі індивідуальних оцінок експертів;
- 2) побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння об'єктів кожним експертом;
- 3) визначення відносних важливостей об'єктів;
- 4) визначення узгодженості думок експертів;
- 5) визначення залежностей між ранжуваннями;
- 6) оцінка надійності результатів обробки.

Раціональне використання інформації, що отримується від експертів, можливо за умови перетворення її у форму, зручну для подальшого аналізу, спрямованого на підготовку ПР. Форма представлення експертних даних залежить від прийнятого критерію, на вибір якого у свою чергу істотний вплив робить специфіка досліджуваної проблеми. Значить, для нас найважливіше - формалізувати цю

інформацію так, щоб допомогти ЛПР вибрати з безлічі дій одне(чи декілька), найбільш прийнятне відносно деякого критерію.

Якщо експерт в змозі порівняти і оцінити можливі варіанти дій, приписавши кожному з них певне число, вважатимемо, що він має певну систему переваг. Залежно від того, за якою шкалою можуть бути задані ці переваги, експертні оцінки містять більший або менший об'єм інформації і мають різну здатність до математичної формалізації.

У випадках, коли досліджувані об'єкти можна в результаті порівняння розташувати в певній послідовності з урахуванням якого-небудь істотного чинника (чинників), використовуються порядкові шкали, що дозволяють встановлювати рівноцінність або домінування. Використання порядкових шкал дозволяє розрізняти об'єкти і в тих випадках, коли чинник (критерій) не заданий в явному виді, тобто, коли ми не знаємо ознаки порівняння, але можемо частково або повністю упорядкувати об'єкти на основі системи переваг, яку має експерт(експерти).

При рішенні багатьох практичних завдань часто виявляється, що чинники, що визначають кінцеві результати, не піддаються безпосередньому виміру. Розташування цих чинників в порядку зростання (чи зменшення) значущості називається ранжуванням. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності чинників найбільш суттєвий. В цьому випадку отримують рангову шкалу – шкала, яка містить елементи, що розташовані за порядком значущості.

При ранжуванні експерт повинен розташувати об'єкти (параметри) в порядку, який представляється йому найбільш раціональним, і приписати кожному з них числа натурального ряду - ранги. При цьому ранг 1 отримує найбільш прийнятна альтернатива, а ранг N - найменш переважна. Отже, порядкова шкала, що отримується в результаті ранжування, повинна задовольняти умові рівності числа рангів N числу об'єктів n , що ранжуються.

Буває так, що експерт не в змозі вказати порядок дотримання для двох або декількох об'єктів або він привласнює різним об'єктам один і той же ранг, і в результаті число рангів N виявляється не рівним числу об'єктів n , що ранжуються. У таких випадках об'єктам приписуються так звані стандартизовані ранги. З цією

метою загальне число стандартизованих рангів вважають рівним n , а об'єктам, що мають однакові ранги, привласнюють стандартизований ранг, значення якого представляє середнє суми місць, поділених між об'єктами з однаковими рангами.

При оцінці об'єктів дослідження експерти частенько розходяться в думках з вирішуваної проблеми. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісної оцінки міри згоди експертів – узгодженості думки експертів. Отримання кількісної міри узгодженості дозволяє більше обґрунтовано інтерпретувати причини розбіжності думок. Використовуючи методи парного порівняння, можна знайти рангову кореляцію між оцінками кожної пари експертів. При великій кількості експертів розрахунки стають надзвичайно трудомісткими, тому узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W , тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з m експертів

Принципи побудови узагальнених критеріїв (зведення багатокритеріального завдання до однокритеріального).

Загальна постановка завдання ПР за наявності безлічі альтернатив і великого числа критеріїв (не завжди погоджених між собою і часом суперечливих), виглядає таким чином:

- є деяка безліч альтернатив A , причому кожна альтернатива a характеризується певною сукупністю властивостей a_1, a_2, \dots, a_n ;

- є сукупність критеріїв $q = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$, що відбивають кількісну безліч властивостей системи, тобто кожна альтернатива характеризується вектором $q(a) = [q_1(a), q_2(a), \dots, q_i(a), \dots, q_n(a)]$;

- необхідно прийняти рішення про вибір однієї з стратегій, причому рішення називається простим, якщо вибір робиться за одним критерієм, і складним, якщо вибрана альтернатива не є найкращою за якимсь одним критерієм, але може виявитися найбільш прийнятною для усієї їх сукупності;

- завдання ПР по вибору альтернативи на безлічі критеріїв формально зводиться до відшукування відображення φ , яке кожному вектору ставить у

відповідність дійсне число $F = \varphi(q) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)$, що визначає міру переваги цього рішення.

Оператор φ називають інтегральним (узагальненим) критерієм. Інтегральний критерій привласнює кожному рішенню по вибору альтернативи відповідне значення ефективності F . Це дозволяє упорядкувати безліч рішень по мірі переваги. Існує безліч методів формування узагальнених критеріїв, але більшість з них побудована на основі формальних правил і не враховує цінність, корисність окремих критеріїв φ , використовуваних при рішенні задачі вибору альтернативи. При побудові узагальненого показника ефективності відповідно до теорії корисності об'єднання критеріїв φ робиться найчастіше на основі адитивного перетворення

$$F = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n w_i q_i.$$

Адитивна форма критеріальної функції, що представляє суму показників якості, приведених до єдиного масштабу, є найбільш зручною і простою формою оцінки [9].

Один з можливих шляхів рішення задачі полягає в наступному. Кожен j -й експерт спочатку визначає набір чисел C_{ij} , що відбивають його думку відносно цінність i -го критерію, причому числа записані в довільному масштабі. Потім вони масштабуються, в результаті чого отримуємо

$$w_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}; \quad \sum_{i=1}^n w_{ij} = 1.$$

Остаточні значення коефіцієнтів обчислюються в результаті усереднювання значення w_{ij} , отримуваних від усіх експертів. Якщо компетентність експертів в групі вважається однаковою, то

$$w_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m w_{ij}.$$

Якщо ж компетентність j -го експерта оцінюється числом g_j , $\sum_{j=1}^m g_j = 1$, то

$$w_i = \sum_{j=1}^m g_j w_{ij}$$

Один з методів формування коефіцієнтів C_{ij} , що відображають думку j -го експерта про цінність i -го критерію, полягає в тому, що спочатку кожен експерт проводить *ранжування* усіх критеріїв, тобто упорядковує їх відповідно до відносної цінності так, що на першому місці знаходиться найголовніший критерій. Перехід від рангів до коефіцієнтів C_{ij} робиться на основі гіпотези про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю критерію. Чим нижче ранг, тим важливішим є відповідний критерій. Визначення коефіцієнтів C_{ij} для довільного r_{ij} робиться відповідно до наступної формули:

$$C_{ij} = 1 - \frac{r_{ij} - 1}{n}$$

Розглянемо алгоритми застосування методу експертних оцінок та визначення вагових коефіцієнтів.

Алгоритм №1

застосування методу експертних оцінок

0. Розроблення анкети для експертного опитування (приклади в Додатку А) і проведення експертного опитування

1. Будова матриці індивідуальних переваг $A_{n \times n} = (a_{ij})$ ($i=1, n$)
2. Визначення системи індивідуальних переваг j -го експерта:

$$R_j = R_1 \otimes R_2 \otimes R_3 \otimes \dots, j=1, n$$

3. Будова матриці групових переваг:

$$A_{n \times m} = (a_{ij}) \quad (i=1, n, j=1, m)$$

4. Визначення системи групових переваг $R_{\text{гп}} = R_1 \otimes R_2 \otimes R_3 \otimes R_4 \otimes R_5 \otimes \dots$ за середнім значенням рангів параметрів групи:

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

5. Визначення міри узгодженості групи експертів

5.1 Дисперсія:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1}$$

5.2 Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}$$

5.3 Коефіцієнт варіації:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} \cdot 100\%$$

Якщо $v < 33\%$ - думки експертів узгоджені, якщо $v > 33\%$ - думки експертів неузгоджені, необхідно повторити експертне опитування або скористатися коефіцієнтом конкордації Кендалла для визначення узгодженості думок експертів за усіма параметрами (процедурам):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}$$

де t_j - число однакових рангів в ***j*-м** рядку, що виставив ***j-й*** експерт:

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i)$$

дисперсія (загальна):

$$S = \sum \left(\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R} \right)^2$$

середня сума рангів за кожним параметром:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m R_{ij}$$

Якщо $W = 0,6..0,7$ - узгодженість думок експертів - висока, якщо $W < 0,6$ - необхідно повторити експертне опитування.

6. Визначення статистичної значущості коефіцієнту конкордації W за критерієм χ^2

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m R} > \chi_t^2$$

7. Знаходження коефіцієнта рангової кореляції Спірмена для визначення узгодженості j -го експерта та групи експертів:

$$r_{s_1} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

8. Статистична значущість коефіцієнта рангової кореляції Спірмена за критерієм Стьюдента

$$t_{\phi} = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} > t_{st}$$

9. Отримання моделі значущості досліджуваних параметрів за узгодженою системою групових переваг експертів:

$$R_{\bar{a}\bar{d}} = R_1 \otimes R_2 \otimes R_3 \otimes R_4 \otimes R_5 \otimes \dots$$

10. Кінець задачі

Алгоритм №2

визначення вагових коефіцієнтів

1. Визначення системи групових переваг експертів $R_{\bar{a}\bar{d}} = R_i \otimes R_{i+j} \dots$ за алгоритмом №1

2. Визначення вагових коефіцієнтів:

$$\omega_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_j}$$

де, $C_i = 1 - \frac{R_{ij} - 1}{n}$ - оцінка, що отримана за припущенням гіпотези про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю параметру;

R_{ij} - ранг i -го параметру j -го експерту (R_{igr} – ранги групи експертів).

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1,$$

Розглянуто оцінювання системи Безпілотних Авіаційних Комплексів за критеріями:

- Безпека
- Регулярність
- Ефективність
- Економічність

Експерти (22 експерта) оцінили значущість системи БАК.

Середнє (думка групи експертів):

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

Для визначеності думки експертів визначені наступні показники:

Дисперсія:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m - 1}$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}$$

Коефіцієнт варіації:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} \cdot 100\%$$

Розрахунки представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Визначення ефективності системи БАК

Експерти	Критерії				
	Безпека	Регулярність	Ефективність	Економічність	Summ
	w_1	w_2	w_3	w_4	Σ
1	2	2	3,5	4	
2	2	3,5	4	2	
3	1	2	2	1,5	
4	1,5	3	3,5	3	
5	1	3,5	3	4	
6	1	3	4	1,5	
7	1,5	3	2	4	
8	2	2	3	3	
9	1	3	4	3,5	
10	1,5	2	2	2	
11	1	3,5	4	2	
12	2	3	3,5	4	
13	1	3,5	4	2	
14	1,5	3	3	1,5	
15	1,5	2	2	3	
16	1	3,5	3,5	2	
17	1	3	2	3,5	
18	2	2	3	4	
19	2	2	4	3	
20	1	3	3	1,5	
21	1,5	3,5	3,5	2	
22	1	3	3	4	
R_{rp}	1,4090909	2,818181818	3,159090909	2,772727273	
D_i	0,1818182	0,37012987	0,556818182	0,96969697	
δ_i	0,4264014	0,608382996	0,746202507	0,984731928	
$V_{is}, \%$	30,260747	21,58778374	23,62079879	35,51492199	
c	0,89772727	0,545454545	0,460227273	0,556818182	2,46023
w	0,3590909	0,218181818	0,184090909	0,222727273	0,98409

Коефіцієнти кореляції менше 33%, тобто думка експертів узгоджена

Важливість критеріїв представлена на рисунку 4.1.

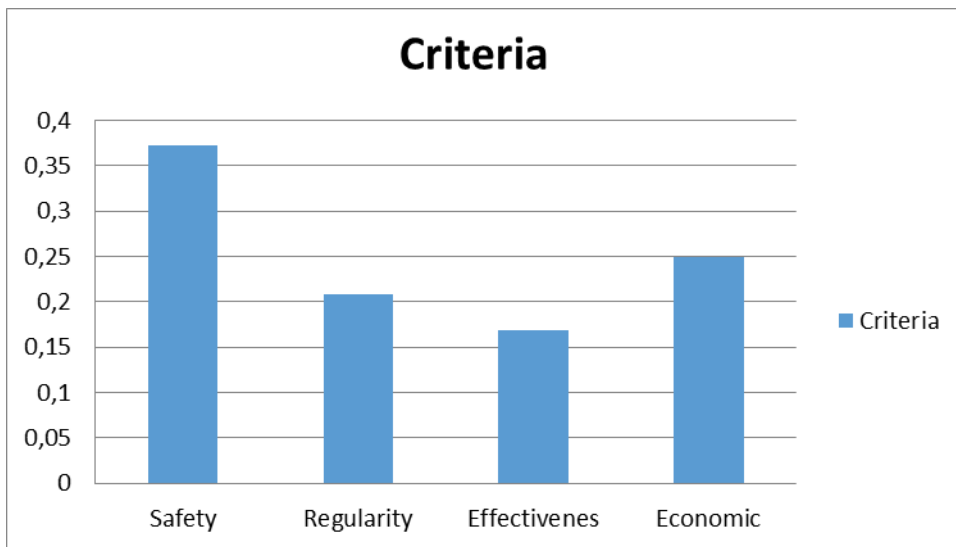


Рисунок 4.1. Ефективність системи за критеріями: безпека; регулярність; ефективність; економічність

РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки так і у наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри у сучасних системах вимірюються за допомогою значної кількості різних сенсорів, що забезпечують створення архіву даних, обробка яких потребує застосування спеціалізованих алгоритмів статистичної обробки. Кожен сенсор виконує вимірювання з певною величиною похибки, дію якої не можна виключили, проте її можна зменшити до прийняттого рівня. Отже сумісна обробка даних у аеронавігаційній системі виконується з врахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю [1]. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує 95% локалізації виміряних значень, виходячи з припущення про нормальний закон розподілу похибок.

Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові /цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку виміряних даних на програмному рівні [2]. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [3-5]. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають постійного перегляду норм ешелонування для задоволення росту потреб авіаційного транспорту. Норми ешелонування ПК визначають максимально допустимі межі розділення ПК у просторі у вертикальній площині, боковому та повздовжньому відхиленнях. Єдиним можливим шляхом вирішення питання перевантаженості повітряного простору є збільшення пропускної здатності певної

частини повітряного простору за рахунок зменшення безпечних відстаней між ПК. На практиці це реалізується шляхом введення більш точних вимог до визначення місцеположення ПК у просторі. Введення більш точних вимог до позиціонування ПК можливе лише за умови наявності відповідних систем здатних задовільнити їх. Функціонування систем позиціонування ПК цивільної авіації забезпечується полем аеронавігаційних сигналів, що створюється у просторі різними системами.

У якості прикладу обробки даних великої розмірності розглянемо траєкторію руху літального апарату та виконаємо її розрахунок за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

5.1. Вхідні дані

Сучасний літак цивільної авіації обладнаний цілою групою різноманітних датчиків, що забезпечують визначення координат місцеположення ПК у просторі. Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму 1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всеспрямовані антени системи [6, 7]. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення, барометричну висоту та інші дані. Координати ПК отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог які діють у повітряному просторі де знаходиться літак.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних [8, 9]. Зокрема, обчислювальні кластери компаній Flightradar24 та

Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [10] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 5.1).

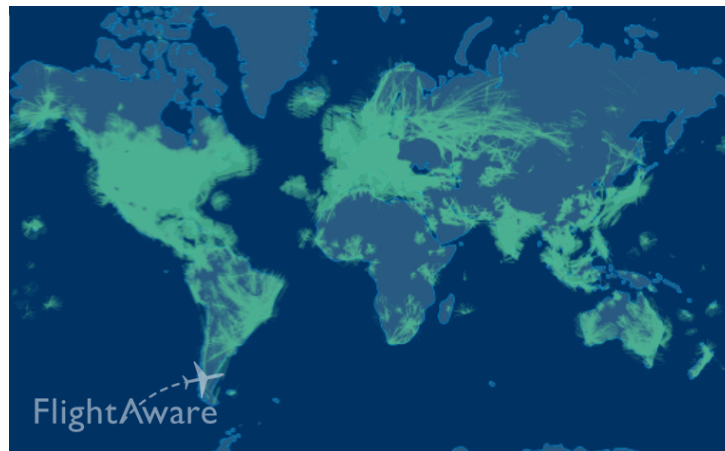


Рисунок 5.1 – Мапа глобального трафіку [10]

Доступ до глобальних баз даних траєкторної інформації є відкритим і забезпечується на комерційній основі. Програмно керований інтерфейс дозволяє отримати будь-який сегмент траєкторних даних для подальшого аналізу.

У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту WZZ6223 / WZZ6223 (Wizz Air 6223), що забезпечуються авіакомпанією Wizz Air Airways зі сполученням Київ, Ukraine (IEV) та Copenhagen, Dania (CPH). Дата вильоту 7 грудня 2021 року о 07:20PM (EET). Дата посадки 7 грудня о 8:20PM (CET). Політ завершився раніше на 10 хвилин від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Airbus 320-200 (A320). Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://uk.flightaware.com/live/flight/WZZ6223/history/20211207/1715ZZ/UKKK/EKCH>. У таблиці 5.1 наведено перші та оснані 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 5.1. Траєкторні дані рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

Time (EEST)	Latitude	Longitude	Heading angle	Ground speed (kts)	Ground speed (mph)	Barometric altitude (feet)
Tue 12:20:48	50.4014	30.4387	← 267°	156	180	249
Tue 12:21:04	50.4008	30.4207	← 267°	160	184	463
Tue 12:21:20	50.4002	30.4011	← 267°	171	197	577
Tue 12:21:36	50.3994	30.3779	← 266°	201	231	714
Tue 12:21:52	50.3988	30.3554	← 274°	220	253	805
Tue 12:22:11	50.4035	30.3214	← 285°	248	285	950
Tue 12:22:31	50.4096	30.2871	← 286°	271	312	1,163
Tue 12:22:57	50.4184	30.2361	← 285°	283	326	1,605
Tue 12:23:27	50.4279	30.1791	← 285°	266	306	2,314
Tue 12:23:57	50.4375	30.1210	← 284°	281	323	2,771
Tue 12:24:33	50.4494	30.0485	← 284°	302	348	3,243
Tue 12:25:03	50.4600	29.9841	← 285°	316	364	3,678
Tue 12:25:33	50.4711	29.9169	← 285°	318	366	4,165
...						
Tue 14:13:40	55.7962	12.9641	← 285°	201	231	968
Tue 14:13:56	55.7950	12.9398	← 247°	174	200	945
Tue 14:14:13	55.7870	12.9209	✓ 227°	161	185	937
Tue 14:14:33	55.7768	12.9036	✓ 223°	143	165	937
Tue 14:14:57	55.7654	12.8856	✓ 222°	137	158	930
Tue 14:15:13	55.7577	12.8736	✓ 221°	136	157	930
Tue 14:15:43	55.7436	12.8515	✓ 221°	137	158	930
Tue 14:16:13	55.7301	12.8303	✓ 222°	137	158	899
Tue 14:16:43	55.7155	12.8077	✓ 222°	137	158	792
Tue 14:17:13	55.7013	12.7854	✓ 222°	137	158	655
Tue 14:17:43	55.6861	12.7619	✓ 221°	137	158	541
Tue 14:18:04	55.6771	12.7479	✓ 221°	133	153	465
Tue 14:18:14	55.6722	12.7402	✓ 221°	133	153	390
Tue 14:19:24	55.6406	12.6911	✓ 222°	128	147	160
Tue 14:19:40	55.6343	12.6813	✓ 221°	128	147	107
Tue 14:19:56	55.6272	12.6705	✓ 221°	128	147	53

5.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021 у програмне забезпечення MATLAB [11]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.5.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 5.3.

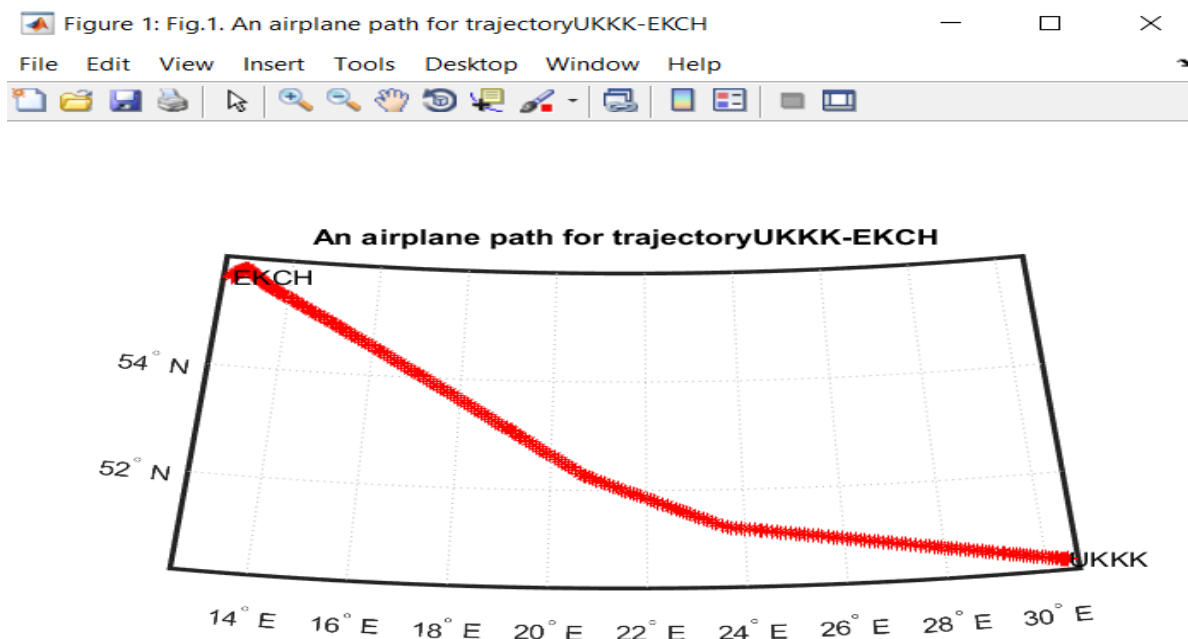


Рисунок 5.2 – Траекторія руху рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

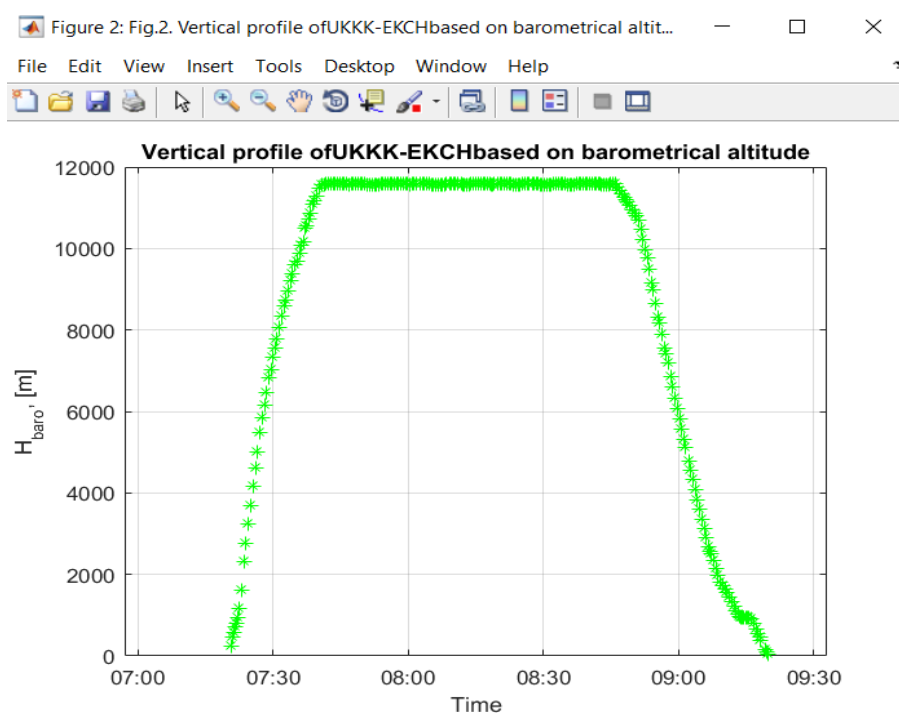


Рисунок 5.3 – Вертикальний профіль рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

5.3. Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на свою частоту видачі

цифрових повідомлень. Крім того слід відмітити що частота 1090МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися один на одне спотворюючись. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполуючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 5.4 - 5.6. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості центра системи використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 5.7 та рис. 5.8.

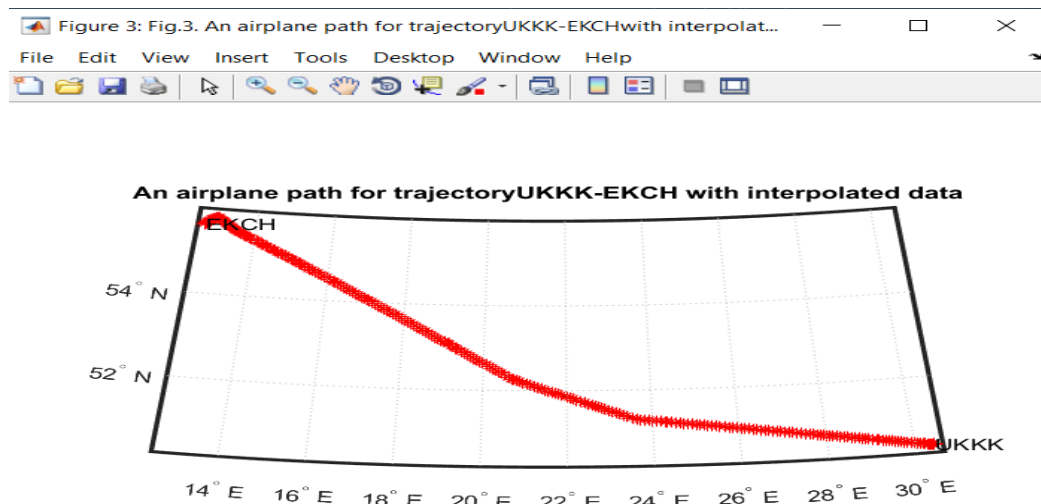
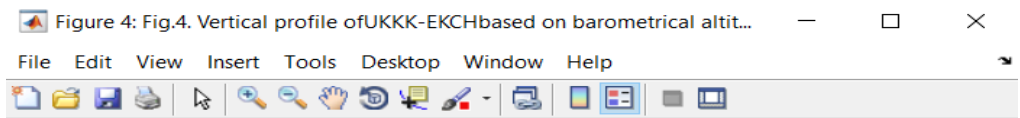


Рисунок 5.4 – Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021



g.4. Vertical profile ofUKKK-EKCHbased on barometrical altitudewith interpolated

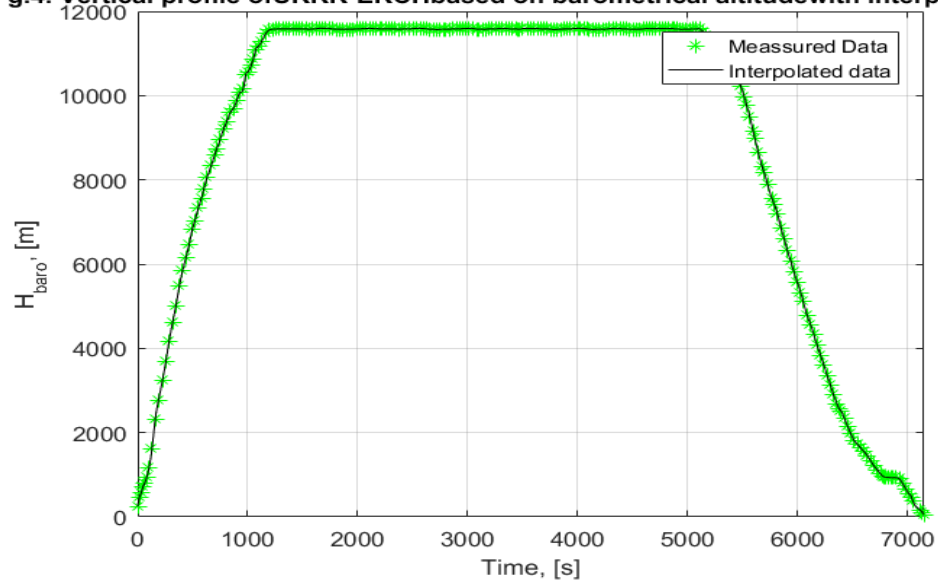


Рисунок 5.5 – Інтерпольований вертикальний профіль ПК WZZ6223 від 7 грудня 2021

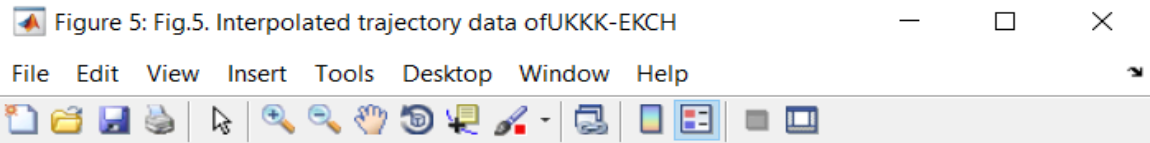


Fig.5. Interpolated trajectory data ofUKKK-EKCH

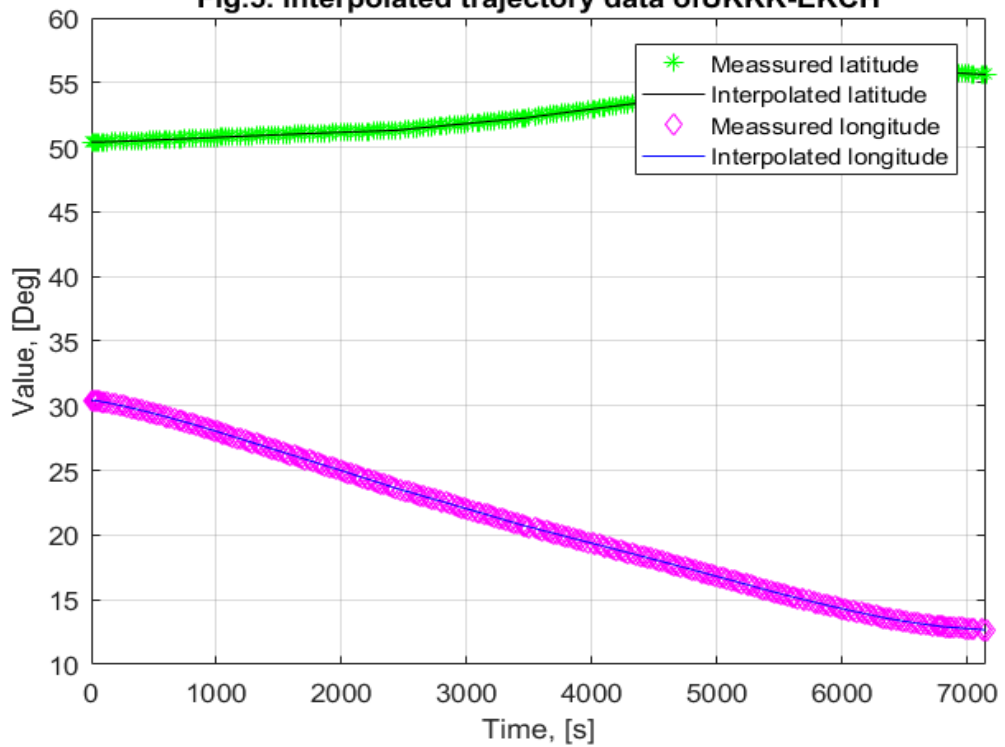


Рисунок 5.6 – Интерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

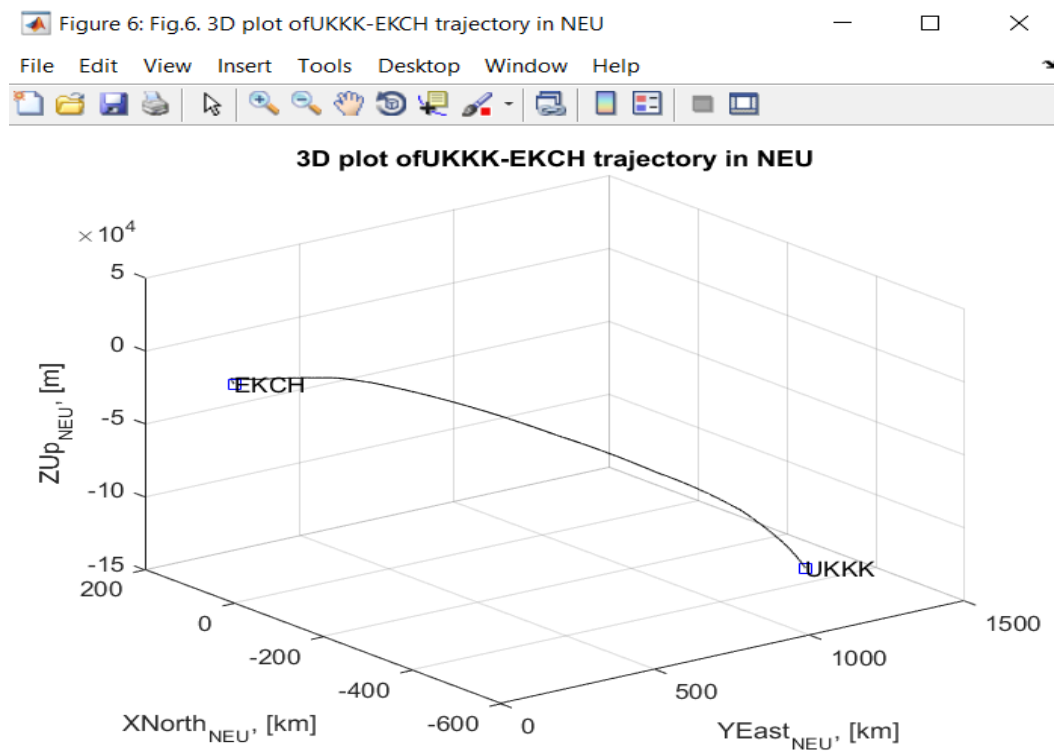


Рисунок 5.7 – Траєкторія руху рейсу WZZ6223 у локальній системі координат

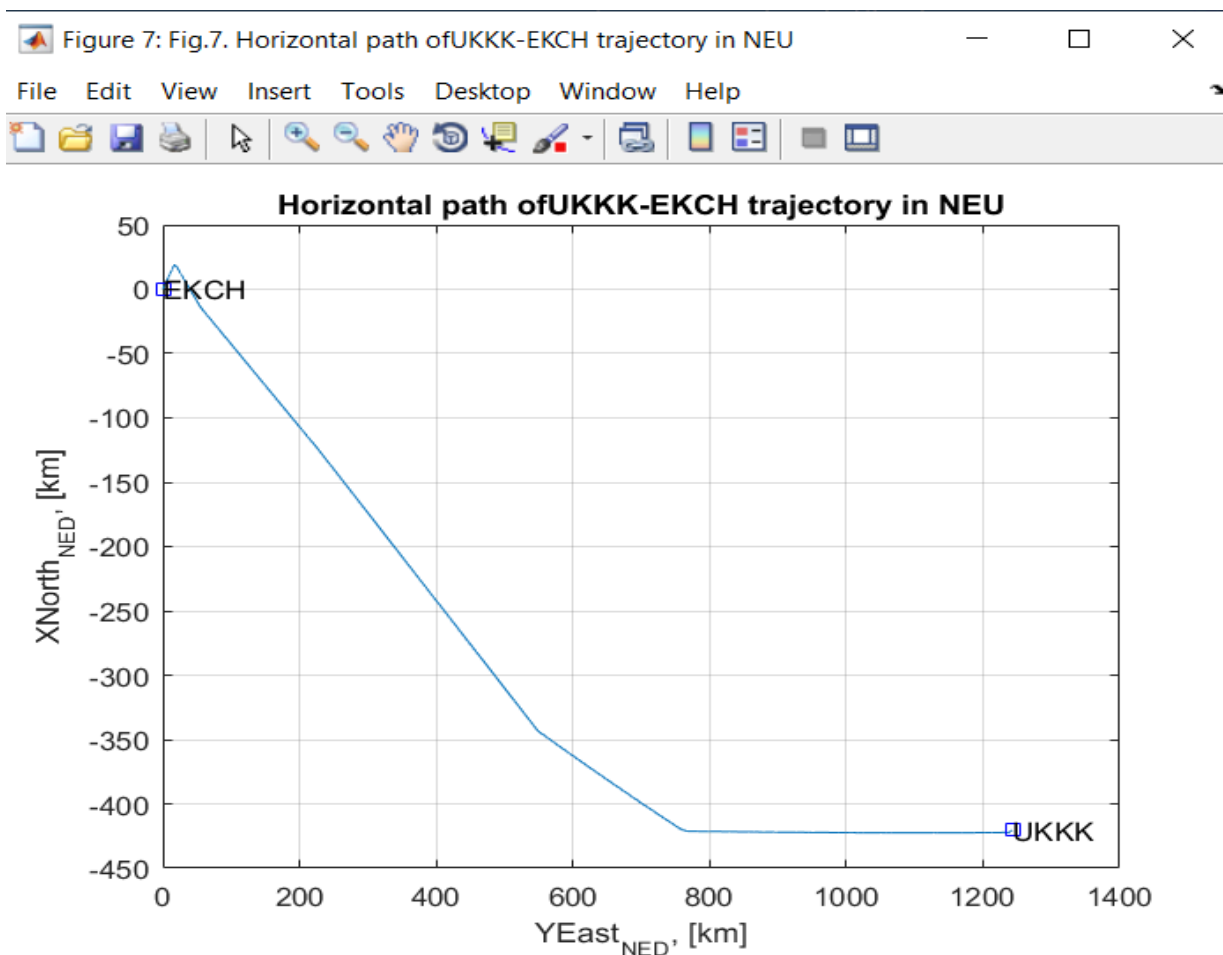


Рисунок 5.8 – Шлях руху рейсу WZZ6223 у локальній системі координат

5.4. Розрахунок параметрів траєкторії

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПК, вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 5.9., а оцінений курс літака на рис. 5.10. Також підрахуємо загальний час польоту, та довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021 1 годину 59 хвилини 58с. Довжина траєкторії –1452км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 1451.4км.

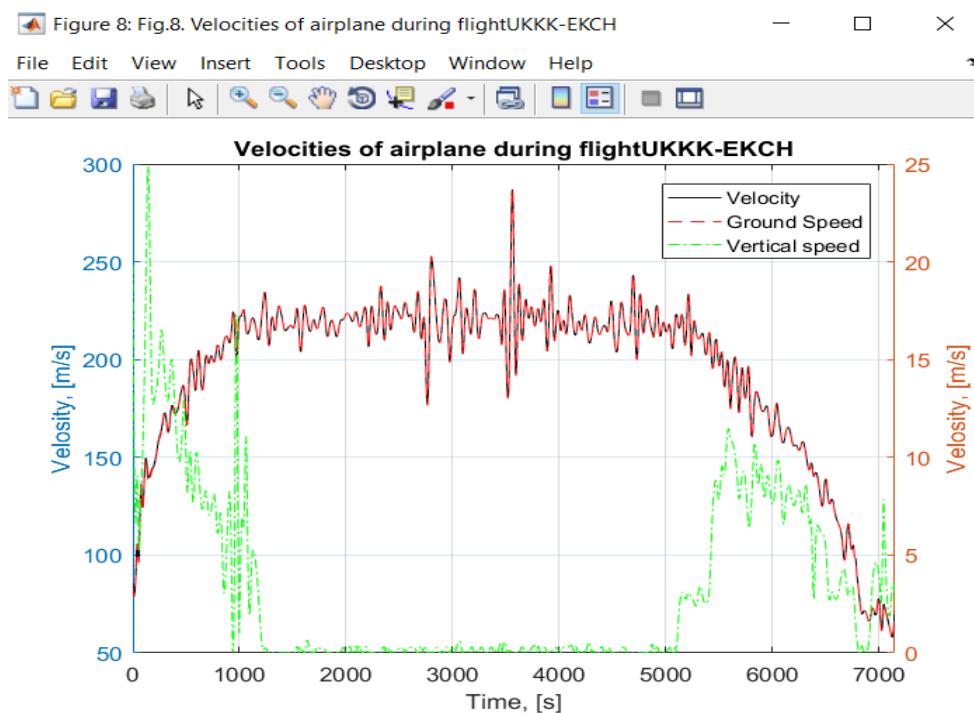


Рисунок 5.9 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

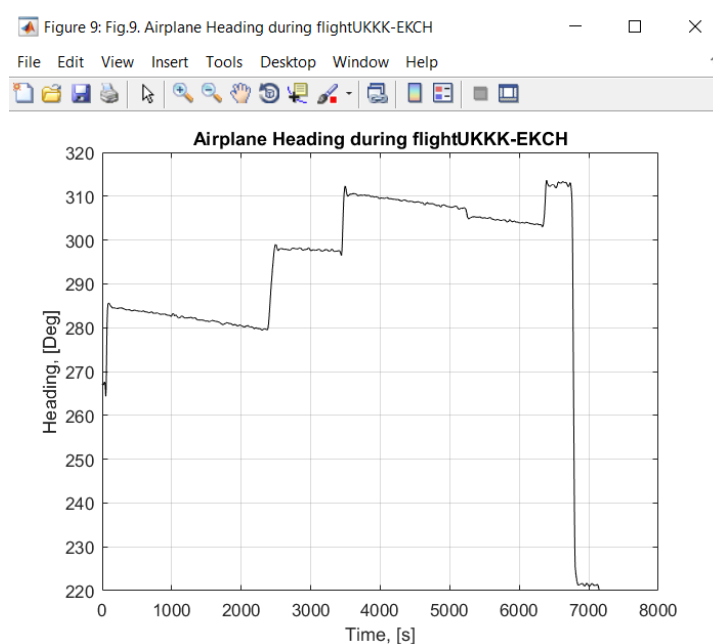


Рисунок 5.10 – Результати розрахунку курсу для рейсу WZZ6223 від 7 грудня 2021

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Безпілотні літальні апарати з кожним днем стають все більш популярними у всьому світі, про що свідчить зростаюча кількість БПЛА різних класів на авіаційних виставках по всьому світу. Завдяки універсальності БПЛА можна виконувати велику і різноманітну кількість робіт, що буде менш фінансово витратним і забезпечить кращий результат наземного моніторингу.

Така популярність даного класу літаків обумовлена рядом переваг перед пілотованими літаками для вирішення широкого кола завдань, основними з яких є відсутність екіпажу, відносно низька вартість БПЛА, а також невисока собівартість за їх створення, виробництво та експлуатацію, велику тривалість і дальність польоту. Функціональні можливості БПЛА постійно удосконалюються. Ефективність БПЛА в екологічному моніторингу має велике значення.

Відсутність державного замовлення на науково-дослідні та дослідноконструкторські роботи та необхідність вкладу власних коштів для створення БПЛА: без чітких гарантій отримання прибутку в майбутньому – спонукає розробників і власників відмовлятися від виконання високотехнологічних досліджень у цій галузі. Але так як в останній час БПЛА набувають популярності в здійсненні моніторингу – держава проводить тендери для компаній, дистриб'ютори та партнери компаній по підготовленню БПЛА в Україні впроваджують курси навчання для майбутніх операторів БПЛА. У більшості випадків використовується досвід створення і використання вже існуючих моделей БПЛА.

Таким чином, проаналізувавши усі данні і підводячи підсумки можна стверджувати, що використання безпілотних літальних апаратів дає можливість: систематично проводити якісні аерофотозйомки лісових об'єктів, просторових і тимчасових процесів на водозборах; швидко виявляти осередки загоряння в лісових масивах, замулення і засмічення водойм, обвалення берегів; аналізувати склад повітря в режимі реального часу та приступати до ліквідації джерел або наслідків аварій; прогнозувати обсяг стоку і запобігти можливим паводкам і повені; виявляти несанкціоновані звалища або викиди промислових відходів. Також технологія

отримання детальних 3D моделей місцевості з БПЛА відкриває широкі можливості для моделювання природних процесів.

За Результатом дослідження цієї дипломної роботи було встановлено, що для протипожежного моніторингу використовувати БПЛА середнього та великого класів, технічні характеристики яких дають змогу застосовувати їх для вирішення поставлених завдань. Запропоновані математичні методи обробки зображення та алгоритм функціонування БАК дозволять покращити ефективність у протипожежному моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Outliers detection in Unmanned Aerial System data. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2021. P. 591-594..
2. Харченко В.П., Остроумов І.В. Авіоніка. Київ: НАУ, 2013. 281с. ISBN: 978-966-598-573-0.
3. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297-310 DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_26.
4. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. Aviation. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589.
5. Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S. An airspace analysis according to area navigation requirements. Aviation. 2019. № 23(2). P. 36-42 DOI: 10.3846/aviation.2019.10302 .
6. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. 2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1-9. DOI: 10.1109/ICNS54818.2022.9771515.
7. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.
8. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2021. № 12950. P. 363-377 DOI: 10.1007/978-3-030-86960-1_26 .

9. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. . UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2. ISBN: 9780081026717.
10. Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL : <https://flightaware.com/adsb/>
11. Software for Air Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages. [Електронний ресурс]. URL :https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-trajectory-visualization
12. Масштабні лісові пожежі 2017 року. URL: http://lesovod.blogspot.nl/2017/07/2017_22.html (дата звернення 25. 07. 2017).
13. Структурний аналіз лісових пожеж, динаміка їхнього розвитку та поширення. URL: <http://gisap.eu/ru/node/1100> (дата звернення 03. 10. 2017)
14. Статистика лісових пожеж – Державне агентство лісових ресурсів України // Кабінет міністрів України. 2016. URL: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/category;jsessionid=E59624042FADD2A84826F25618055693?cat_id=63902. Статистичний щорічник України 2016 (дата звернення 18. 08. 2017).
15. Система централізованого пожежного спостереження. URL: <http://isecurity.com.ua/sposterezhennya/> (дата звернення 05. 12. 2016).
16. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах : Наказ Міністерство надзвичайних ситуацій України від 25 серпня 2011 року N 890. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN69121.html (дата звернення 01. 06. 2016).
17. Наказ «Про затвердження Правил з пожежного спостерігання»/ Міністерство Внутрішніх справ України. 2015. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0920> (дата звернення 10. 11. 2017).

18. За порушення правил пожежної безпеки в лісах штрафи для громадян збільшені
URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2017/02/7/222486/> (дата звернення 03. 12. 2017).
19. Бондарев Д. І., Кучеров Д. П., Шмельова Т. Ф. Моделі групових польотів безпілотних літальних апаратів з використанням теорії графів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2015. №3. С. 68–74.
20. Ефремов П. В., Попов К. А., Капитонова Т. А., Стручкова Г. П. Обработка и анализ данных дрона для мониторинга линейных объектов, эксплуатирующихся на севере. Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 10-2. С. 238 – 239.
21. Зинченко О. Н. Беспилотный летательный аппарат : применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Москва : Ракурс, 2011. 200 с.
22. Рэндал У. Б., Тимоти У. М. Малые беспилотные летательные аппараты : теория и практика. Москва : Техносфера, 2015. 312 с.
23. Трубников Г. В., Воронов В. В. Беспилотные летательные аппараты и технологическая модернизация страны. Экспорт вооружений. 2009. № 4. С. 11–20.
24. Слюсар В. И. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО. Электроника : наука, технология, бизнес. Москва, 2010. № 3. С. 80–86.
25. Слюсар В. И. Радиолинии связи с БПЛА : примеры реализации Электроника : наука, технология, бизнес. Москва, 2010. № 5. С. 56–60.
26. Колобородов В. І., Харитоненко К. В. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах. Вісник НТУУ "КПІ". Київ, 2010. №40. С. 23 – 31.
27. Волошинов А. Б. Перспективы применения перестраиваемых акустооптических фильтров в составе аппаратуры беспилотных летательных аппаратов. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами : сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции, г. Коломна, 2016. С. 54–57.

28. Нейронні мережі в задачах обробки зображень URL: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t2/24..htm. (дата звернення: 12. 01. 2016).
29. Даник Ю. Г., Пулеко І. В. Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів. Вісник ЖДТУ. 2014. № 4. С. 71–81.
30. Яне Б. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2008. 584с.
31. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций. СПб : БХВ – Петербург, 2005. 768 с.
32. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. Москва : Мир, 1989. 336 с.
33. Стругайло В. В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. Научное издание МГТУ имени Н. Э. Баумана. Наука и образование. Электронный научно-технический журнал. Москва, 2012. №77. С. 270–281.
34. Рейда О. М., Олійник Ю. В., Панчук А. О., Синенький М. Л. Методи поліпшення цифрового зображення та відновлення його структури. Наукові праці ВНТУ. 2010. №4. С. 1–7.
35. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов : учебное пособие. С.-Пб. : ООО «Модус», 1999. 152 с.
36. Кононюк А. Ю. Нейроні мережі і генетичні алгоритми. Київ : Корнійчук, 2008. 446 с.
37. Основы теории вейвлет-преобразования. BaseGroup Labs. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/intro-wavelets> (дата звернення: 11. 11. 2016).
38. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1. Работа с изображениями и видеопотоками. Москва : СОЛОН-Пресс, 2010. 400 с.
39. Qin A. K., Suganthan P. N. Enhanced neural gas network for prototype based clustering. School of Electrical & Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, Block S2. 2004: URL: <https://www.google.com.ua/maps/dir/50.4565812,30.6135998/50.464999,30.62>

04772/@50.4648665,30.6210227,17z/data=!4m3!4m2!3e2!5i1?hl=uk. (дата
звернення: 05. 08. 2016).

40. Van Heerden P. G. A new optical method of storing and retrieving information. *Applied Optics*. 1963. No 2. С. 387–392.
41. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий. Алгоритм нейронного газа. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий. Нечеткие множества. Искусственный интеллект. Нейронные сети для обработки информации. 2016. URL: http://stu.scask.ru/book_ns.php?id=85 (дата звернення: 18. 10. 2017).
42. Шульгина Г. И. Реализация принципа голографической теории памяти в работе мозга и сети из нейроноподобных элементов. *Радиотехника*. 2016. № 6. С. 53–54.
43. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. *Proc SPIE 9066, Eleventh International Conference on Correlation Optics.2013. Vol. 9066, 99660H1-14*
44. Romano M. E. Innovation in LiDAR processing technology. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2004. Vol 70, No 11. P. 1202–1206.