

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА АВІОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Грищенко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: «Оглядово-порівняльна навігаційна система сучасного літака»

Виконавець: Уманцева Євгенія Олександрівна

(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: Чужа О.О

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»:

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Консультант розділу «Охорона

навколишнього середовища»:

(підпис)

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

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (П.І.Б.)

В.В.Левківський

Київ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.В.Грищенко

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Уманцевої Євгенії Олександрівни

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оглядово-порівняльна навігаційна система сучасного літака» затверджена наказом ректора від: « 05 » 10 2023 р. № 2040/ст
2. Термін виконання роботи : з 02 жовтня 2023 по 31 грудня 2023.
3. Вихідні дані до роботи: навігаційні системи повітряних суден, характеристика оглядово-порівняльних методів навігації, датчики оглядово-порівняльних навігаційних систем.
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Аналіз навігаційних систем сучасних повітряних суден; Розділ 2. Датчики первинної інформації оглядово-порівняльних навігаційних систем; Розділ 3. Оглядово-порівняльна (кореляційно-екстремальна) навігаційна система сучасного повітряного судна.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: узагальнена структурна схема оглядово-порівняльної системи, зміщення еталонної та поточної карток місцевості при відхиленні ЛА від заданої траєкторії, геометричні елементи, що використовуються в оглядово-порівняльній системі, та структурна схема системи, поверхні і лінії положення щодо місця розташування об'єкта позиційним методом, складові вектора швидкості ЛА та функціональна схема системи числення шляху.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підбір літератури	02-16.10.2023	
2	Підготовка та написання 1 розділу	17-31.10.2023	
3	Підготовка та написання 2 розділу	01-15.11.2023	
4	Підготовка та написання 3 розділу	16-30.11.2023	
5	Підготовка та написання 4 розділу «Охорона навколишнього середовища»	01-07.12.2023	
6	Підготовка та написання 5 розділу «Охорона праці»	07-14.12.2023	
	Перевірка на антиплагіат та отримання рецензії на роботу	15-16.12.2023	
7	Підготовка презентації та доповіді	17-20.12.2023	

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			
Охорона навколишнього середовища			

8. Дата видачі завдання: «02» жовтня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Чужа О.О.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Уманцева Є.О.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

**РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Оглядово-порівняльна навігаційна система сучасного літака» складає: 119 сторінок, містить рисунків 29 і 12 використаних джерел інформації.

Об'єкт дослідження - процес огляду та порівняння фактичного вигляду місцевості з її зображенням на карті або системою орієнтирів, закладених в пам'ять бортової обчислювальної машини, за допомогою бортових оглядових пристроїв (телевізійних візирів, радіолокаційних систем та ін.) для визначення місцезнаходження повітряного судна.

Предмет дослідження: оглядово-порівняльна навігаційна система.

Мета дослідження - дослідити та порівняти методи визначення навігаційних параметрів руху літального апарата на основі оглядово-порівняльної навігаційної системи.

Задачі на дослідження –проаналізувати методи визначення навігаційних параметрів руху; порівняти методи та провести аналіз переваг та недоліків; запропонувати рекомендації щодо подальших напрямків дослідження та використання оглядово-порівняльних навігаційних систем; зробити підсумок дослідження на основі отриманих результатів.

Актуальність теми дослідження – дослідження оглядово-порівняльних навігаційних систем є актуальною темою, особливо в контексті сучасних технологій та зростаючих потреб у навігації. Оглядово-порівняльні навігаційні системи дозволяють користувачам отримувати інформацію про різні варіанти маршруту, оснований на різних параметрах, таких як відстань, час, транспортні засоби та інші фактори. Це дозволяє людям зробити інформований вибір щодо оптимального маршруту в залежності від їхніх потреб і умов.

Ключові слова: НАВІГАЦІЯ, ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, БОРТОВІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ, НАЗЕМНІ СИСТЕМИ ОБРОБКИ, ЛЬОТНА ПОДІЯ, ОГЛЯДОВО-ПОРІВНЯЛЬНІ СИСТЕМИ.

## **ЗМІСТ**

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

## ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. Аналіз навігаційних систем сучасних повітряних суден

- 1.1. Класифікація методів навігації
- 1.2. Класифікація навігаційних пристроїв і систем
- 1.3. Характеристика оглядово-порівняльних методів навігації
- 1.4. Принцип дії оглядово-порівняльної навігаційної системи
- 1.5. Висновки до розділу

### РОЗДІЛ 2. Датчики первинної інформації оглядово-порівняльних навігаційних систем

- 2.1. Типи оглядово-порівняльних навігаційних систем
- 2.2. Аналіз систем автоматичного розпізнавання наземних об'єктів
- 2.3. Датчики первинної інформації систем розпізнавання об'єктів
- 2.4. Висновки до розділу

### РОЗДІЛ 3. Оглядово-порівняльна (кореляційно-екстремальна) навігаційна система сучасного повітряного судна

- 3.1. Основи оглядово-порівняльного методу в кореляційно-екстремальних навігаційних системах
- 3.2. Особливості реалізації оглядово-порівняльного методу в КЕНС
- 3.3. Бортовий комплекс високоточної навігації з кореляційно-екстремальною оглядово навігаційною системою з цифровою картою місцевості рельєфу місцевості
- 3.4. Висновки до розділу

### РОЗДІЛ 4. Охорона навколишнього середовища

- 4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що діють при розробці та роботі з навігаційними системами
- 4.2. Розрахунок штучного освітлення щодо випробувань оглядово-порівняльних систем навігації

### РОЗДІЛ 5. Охорона праці

- 5.1. Авіаційні викиди
- 5.2. Вплив викидів

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

БВ – барометричний висотомір

БФІ - багатофункціональний індикатор

ВП – вирішальний пристрій  
ВРМ – висоти рельєфу місцевості  
ДВШ – доплерівський вимірювач швидкості  
ЕКМ – еталонна карта місцевості  
ІВС – індикатор введення даних  
ІНС – інерціально-навігаційна система  
КЕНС - кореляційно-екстремальна навігаційна система  
КФ – кореляційна функція  
ЛА – літальний апарат  
МІ – мовний інформатор  
ОПС – оглядово порівняльні системи  
ПП – поверхонь положення  
ППМ – початковий пункт маршруту  
ПС – повітряне судно  
РЛС – радіолокаційна станція  
ФПКМ - формувач поточної карти  
ЦМЗ – цифрова система опису земної поверхні  
ЗЗП - зовнішній запам'ятовуючий пристрій

## **ВСТУП**

На перший погляд, оптимальний підхід до автономної навігації може здатися досить простою проблемою – спостерігайте за навколишнім середовищем, щоб визначити, де знаходиться транспортний засіб, з'ясуйте, де йому потрібно бути, а



потім визначте найкращий шлях туди дістатися. На жаль, зробити це може бути не так просто, як звучить це речення.

Проблема номер один, що може зробити автономну навігацію складною, коли транспортний засіб повинен рухатися через середовище, яке не зовсім відомо. У таких ситуаціях екіпажу транспортного засобу складно точно визначити місцезнаходження, де знаходиться пункт призначення або які перешкоди та обмеження стоять на шляху.

Загалом, чим більш передбачуваним і зрозумілим є середовище, тим легше здійснити повну автономну навігацію.

Наприклад, побудова автономного космічного корабля, який обертається навколо Землі, зазвичай є простішою навігаційною проблемою, ніж автономний літальний апарат – принаймні з точки зору складності середовища. Космос є більш передбачуваним середовищем, ніж повітря, оскільки ми маємо менше невизначеності щодо сил, які діють на транспортний засіб, і ми маємо більше впевненості щодо поведінки інших об'єктів поблизу. Коли апарат складає план, скажімо, виконує маневр утримання на станції, ми впевнені, що космічний корабель зможе автономно слідувати цьому плану, не стикаючись із невідомими силами чи перешкодами з навколишнього середовища. Таким чином, нам не потрібно будувати транспортний засіб, який має враховувати багато невідомих ситуацій; обертання навколо Землі є відносно передбачуваним середовищем.

З іншого боку, з літаками ми повинні проходити через набагато більше невизначеності. Це невідомі пориви вітру, зграї птахів, які літають навколо, інші літаки, керовані людиною, а також необхідність приземлитися й рулити навколо аеропорту – це лише деякі з них.

Автономна навігаційна система може безпечно керувати безпілотними суднами в реальному часі та в реальному середовищі без втручання людини.

Задача автономних навігаційних систем полягає в забезпеченні безперервного та надійного руху літальних апаратів у фізичному середовищі. Основні задачі, які вони вирішують, включають:

Локалізація: визначення точної позиції та орієнтації пристрою у просторі. Це може включати використання супутникової навігації (наприклад, GPS), інерціальних датчиків (акселерометрів, гіроскопів) та інших датчиків для визначення положення.

Картографування: створення моделей середовища, включаючи географічну інформацію, перешкоди, ландшафтні особливості тощо. Це дозволяє пристрою мапувати своє оточення і використовувати цю інформацію для планування маршруту та уникнення перешкод.

Планування маршруту: визначення оптимального шляху для досягнення заданої цілі. Пристрої можуть використовувати алгоритми планування, що враховують обмеження, такі як розмір пристрою, обмеження руху та інші фактори, щоб забезпечити безпечний і ефективний рух.

Виявлення та уникнення перешкод: аналіз навколишнього середовища для виявлення перешкод, таких як гори, водойма, будівлі, інші об'єкти. Пристрої можуть використовувати різні датчики, такі як відеокамери, лазерні сканери або радари, для збору інформації про перешкоди та прийняття рішень щодо уникнення них.

Керування рухом: реалізація контролю руху пристрою, включаючи рішення щодо швидкості, кута повороту, режиму руху тощо.

Ці задачі вимагають високої обчислювальної потужності, розуміння оточуючого середовища та ефективної обробки даних.

Отже, задачею автономних навігаційних систем є вимірювання пілотажно-навігаційних параметрів, що характеризують політ літака, не використовуючи при цьому будь-які випромінюючі сигнали.

Проблематика авіаційних оглядово-навігаційних систем та методів може включати наступні аспекти:

Точність та надійність: авіаційні навігаційні системи повинні забезпечувати високу точність та надійність позиціонування та навігації літальних апаратів. Питання виникають щодо можливості досягнення необхідної точності у різних умовах польоту, таких як погода, перешкоди, інтерференція сигналу та інші фактори.

Ефективність та швидкість: завдання авіаційних оглядово-навігаційних систем полягає в тому, щоб забезпечити швидку та ефективну навігацію літальних апаратів.

Проблеми можуть виникати з прискоренням обчислень та обробки даних, а також з швидкістю оновлення інформації про позицію та стан.

Адаптація до зміни умов: авіаційні системи навігації повинні бути здатні адаптуватися до зміни умов польоту та навколишнього середовища. Це охоплює здатність пристосовуватися до змін в погодних умовах, перешкод, нових навігаційних точок та інших параметрів, що можуть впливати на навігацію.

Вартість та доступність: проблемою може бути вартість та доступність авіаційних оглядово-навігаційних систем та методів. Деякі передові технології можуть бути дорогими або складними для впровадження, що ускладнює їх доступність для широкого кола літальних апаратів.

Інтеграція з існуючими системами: у розгляді авіаційних оглядово-навігаційних систем також виникає проблема їхньої інтеграції з існуючими системами на борту літальних апаратів. Це може включати інтеграцію з автопілотами, системами контролю політного режиму, системами аварійного управління та іншими елементами авіоніки.

Вивчення проблематики авіаційних оглядово-навігаційних систем та методів допомагає розуміти виклики, з якими стикаються дослідники та інженери, і сприяє подальшому розвитку та вдосконаленню таких систем для покращення безпеки та ефективності авіаційних перевезень.

Засоби оглядово-порівняльних навігаційних систем постійно розвиваються, щоб забезпечити кращу ефективність, точність та надійність навігаційних рішень. Ось деякі аспекти розвитку та майбутні тенденції оглядово-порівняльних навігаційних систем:

Покращення алгоритмів обробки даних: Завдяки постійному розвитку алгоритмів обробки даних, засоби оглядово-порівняльних навігаційних систем стають більш точними та швидкими. Нові алгоритми дозволяють ефективно обробляти та аналізувати великі обсяги даних з різних джерел, що допомагає покращити якість навігаційних вимірювань та забезпечити точні результати порівняння різних систем навігації.

Розширення географічного охоплення: Однією з ключових тенденцій є розширення географічного охоплення оглядово-порівняльних навігаційних систем. Розробники працюють над тим, щоб забезпечити можливість порівнювати системи навігації у різних регіонах світу, включаючи віддалені та недоступні території. Це вимагає розвитку нових методів збору даних та організації порівняльних експериментів у різних географічних умовах.

Інтеграція з новими технологіями: Засоби оглядово-порівняльних навігаційних систем також інтегруються з новими технологіями для покращення функціональності та результативності. Розвиток мобільних додатків та інтерфейсів: З огляду на широке використання мобільних пристроїв розробники засобів оглядово-порівняльних навігаційних систем працюють над створенням зручних та легко використовуваних мобільних додатків та інтерфейсів. Це дозволить користувачам легко отримувати доступ до порівняльної інформації про різні системи навігації та приймати обґрунтовані рішення.

Використання розширеної реальності (AR) та віртуальної реальності (VR): Однією з перспективних тенденцій є використання AR та VR для покращення візуалізації та розуміння порівняльних даних систем навігації. Це може включати використання AR- та VR-технологій для створення інтерактивних тренажерів, симуляторів та візуалізаційних інструментів, які допомагатимуть користувачам краще зрозуміти різницю між системами та їх можливостями.

Отже, розвиток засобів оглядово-порівняльних навігаційних систем продовжується, спираючись на нові технології та інновації. Це сприятиме поліпшенню точності, швидкості та надійності навігаційних рішень та дозволить користувачам зробити кращі вибори щодо використання систем навігації в різних умовах та застосуваннях.

## **РОРДІЛ 1. АНАЛІЗ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ СУЧАСНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

### **1.1. Класифікація методів навігації**

Методи навігації складаються з взаємопов'язаних вимірювань навігаційних елементів і обчислювальних операцій, які дозволяють отримати інформацію про фактичний режим польоту. Суть цих методів полягає в отриманні поверхонь положення, взаємне використання яких дозволяє точно визначити місцезнаходження Літального Апарату (ЛА). Задля успішного розв'язання навігаційних задач необхідно мати не менше ніж три поверхні положення. У випадку, коли один метод навігації не надає необхідної кількості поверхонь положення, застосовуються інші методи для доповнення цього дефіциту.

Класифікація методів навігації базується на ряді ознак, серед яких ключовими є:

- спосіб визначення координат місцезнаходження;
- характер вимірюваних фізичних величин;

Згідно з першою ознакою класифікації, методи навігації розділяються на три основні групи:

Методи чисельності шляху: Засновані на вимірах складових вектора прискорення або швидкості руху об'єкта та інтегруванні цих величин для отримання координат місцезнаходження. Ці методи містять в собі повітряний, радіолокаційний, доплерівський та інерціальний методи чисельності шляху.

Позиційні методи: Засновані на вимірі фізичних величин, що формують лінії або поверхні положення. Для визначення координат місцезнаходження ЛА використовуються дві або три поверхні які перетинаються. Цю групу складають різноманітні радіотехнічні, астрономічні, супутникові, а також ізодинамічний, ізобарний та інші позиційні методи навігації.

Оглядово-порівняльні методи засновані на огляді навколишньої місцевості та порівнянні її зображення з картою або системою орієнтирів, закладених у пам'яті. Третю групу складатимуть методи інфрачервоного чи радіолокаційного зображення Землі з географічними картами.

Залежно від природи вимірюваних величин, методи навігації поділяються на безліч видів. Наприклад, аерометричні, засновані на вимірі фізичних параметрів

земної атмосфери; геомагнітні, використовують навігаційні властивості магнітного поля тощо.

Вибір методу або сукупності методів навігації для використання на конкретному ЛА визначається низкою розумів, а саме:

- характером середовища, в якому рухається ЛА (вода, повітря, космічне середовище);
- діапазоном зміни навігаційних параметрів (дальності, швидкості, прискорення та ін);
- потрібної точності вимірювання навігаційних параметрів;
- рівнем автономності, перешкодозахищеності та надійності навігаційних вимірювань;
- ступенем фізичної реалізованості методу навігації (мається на увазі можливість створення навігаційних пристроїв, що задовольняють експлуатаційним вимогам).

Метод обчислення шляху. Цей метод ґрунтується на інтегруванні за часом вимірного вектора швидкості ЛА щодо Землі (рис. 1.1,а).

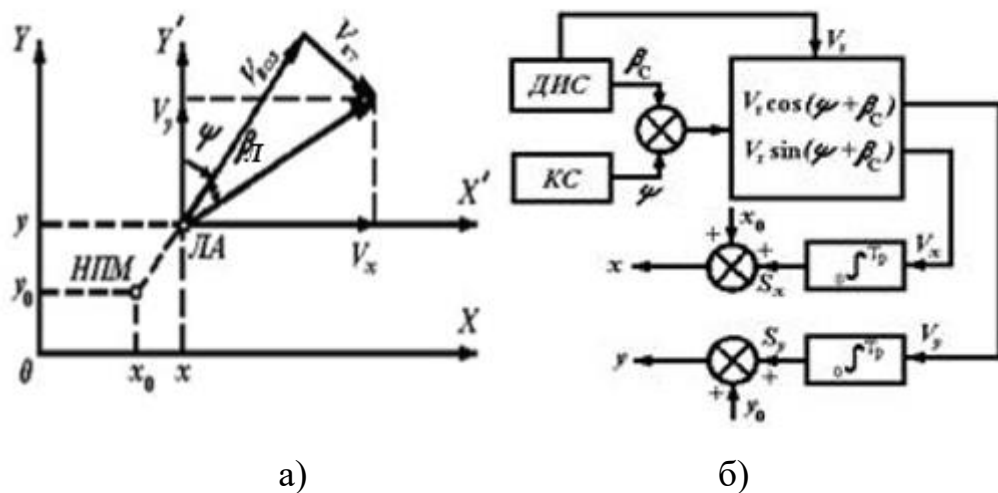


Рис.1.1 Складові вектора швидкості ЛА (а) та функціональна схема системи числення шляху (б)

Як датчик системи числення застосовують доплерівський вимірювач швидкості ДВШ (рис. 1.1, б), що і визначає назву такої системи - доплерівська навігаційна система. (Інформація про швидкість ЛА може бути отримана також від

інерційної навігаційної системи.) За допомогою ДВШ зазвичай вимірюють модуль вектора швидкості  $V_r$  в горизонтальному польоті (шляхова швидкість), що являє собою суму векторів повітряної швидкості  $V_{\text{воз}}$  і швидкості вітру  $V_{\text{вт}}$  і кут зносу  $b_c$ , тобто, кут між поздовжньою віссю ЛА та напрямком вектора  $V_r$ .

Обчислювальний пристрій визначає поздовжню  $V_x$  та поперечну  $V_y$  складові вектора  $V_r$  та розраховує поточне розташування ЛА. Доплерівський вимірювач визначає напрямок вектора  $V_r$  поздовжньої осі ЛА. Для знаходження напрямку польоту стосовно поверхні Землі необхідно знати курс ЛА  $\psi$ , інформація про який надходить від курсової системи КС.

При відомому курсі ЛА можуть бути отримані складові швидкості  $V_x$  і  $V_y$  інтегрування яких дає складові пройденого шляху  $S_x$  і  $S_y$ .

Для визначення поточних координат ЛА систему вводять координати  $x_0$  і  $y_0$  початкового пункту маршруту ППМ, з моменту прольоту якого починається числення шляху.

Доплерівська навігаційна система не потребує наземних станцій. Головною її особливістю є погіршення точності позиціювання з часом, що пояснюється інтегруванням похибок ДВШ. Похибка позиціювання в системах числення становить 1,5% від пройденого шляху для доплерівської навігаційної системи.

Позиційний метод. Заснований на використанні поверхонь або ліній положення для визначення розташування об'єкта. Поверхня положення є геометричне місце точок у просторі, відповідних одному значенню  $W$ , тобто одного значення дальності, кута і т.п. Розташування об'єкта знаходиться як точка перетину трьох поверхонь положення (ПП). У місцевій системі координат (рис.1.2,а) у припущенні, що об'єкт розташований у точці  $M$  такими поверхнями положення зазвичай є

ПП<sub>1</sub> ( $W_1 = R = \text{const}$ ), ПП<sub>2</sub> ( $W_2 = \alpha = \text{const}$ ) та ПП<sub>3</sub> ( $W_3 = H = \text{const}$ ).

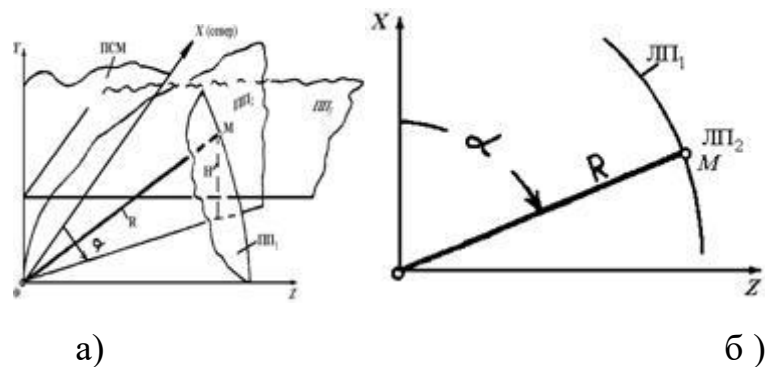


Рис. 1.2 Поверхні (а) і лінії (б) положення щодо місця розташування об'єкта позиційним методом

Поверхня  $ПП_1$  – сфера з радіусом  $R_{ПП_2}$  – вертикальна площина, що становить з площиною північного меридіана  $ППМ$  кут  $\alpha$ , а  $ПП_3$  – горизонтальна площина, що знаходиться на висоті  $H$  від площини  $XOZ$ .

Завдання визначення положення об'єкта суттєво спрощується, якщо  $H \ll R$ , а поверхня Землі приймається за площину (при  $R \leq 500$  км заміна частини кола, що виходить при перерізі земної кулі площиною, що проходить через центр Землі, прямою лінією призводить до помилки менше 0,2 % від  $R$ ). У цьому випадку для визначення положення об'єкта на площині використовуються лінії положення (ЛП), що є геометричним місцем точок на площині, що мають однакові значення  $W$ . Розташування об'єкта визначається як точка перетину двох ліній положення (рис.1.3,б): ЛП<sub>1</sub> ( $W_1 = R = \text{const}$ ) і ЛП<sub>2</sub> ( $W_2 = \alpha = \text{const}$ ). Лінія ЛП<sub>1</sub> – коло з радіусом  $R$ , а ЛП<sub>2</sub> – пряма, розташована під кутом  $\alpha$  до осі  $X$ , що збігається з напрямком північного меридіана. У ситуації ЛП утворюються при перетині поверхонь положення  $ПП_1$  і  $ПП_2$  площиною  $XOZ$ .

У позиційних РНС вимірюють елементи  $W$ , що характеризують положення ЛА щодо стаціонарних або рухомих опорних передавальних або приймально-передавальних радіостанцій, розташованих у пунктах (РНТ) - радіонавігаційних точках з відомими координатами (або на відомих траєкторіях).

Більшість РНТ реалізують позиційний метод, що пояснюється можливістю визначення місця розташування без урахування та знання пройденого шляху. Однак це можливо лише у зоні дії опорних станцій. Крім того, на точність позиційних РНТ



сильно впливають перешкоди, відображені сигнали і т.п. Точність позиційних систем залежить від принципу їх побудови і від діапазону радіохвиль, що використовується, і характеризується похибкою від декількох сотень метрів до кількох кілометрів в РНТ великої дальності, що працюють в діапазонах кілометрових і міліметрових хвиль.

Навігаційні елементи  $W$ , що вимірюються в позиційних РНТ, відносяться до набору з 6 величин, вимір яких можна виконати радіотехнічними методами:

- 1) дальність, у тому числі псевдодальність;
- 2) різницю дальностей до двох джерел сигналу;
- 3) сума дальностей;
- 4) пеленг;
- 5) зворотний пеленг;
- 6) різниця пеленгів.

Лініями положення для перерахованих величин є:

- 1) коло;
- 2) гіпербола;
- 3) еліпс;
- 4) промінь з точки розташування споживача;
- 5) промінь з точки розташування маяка;
- 6) дуга кола.

Проблема позиціювання об'єкта, або, коротше, проблема визначення, зводиться до визначення (вимірювання) деяких геометричних величин, однозначно характеризують місце об'єкта в просторі. До них відносяться насамперед довжина траєкторії поширення, або дальність, та напрямок на випромінювач радіохвиль. Визначення цих величин, зване радіодальнометрією та радіопеленгацією відповідно, здійснюється за допомогою радіопристроїв — радіодальномірів та радіопеленгаторів. Кут між початковим напрямком та шуканим називається пеленгом. При пеленгації в горизонтальній площині як початковий приймають північний напрям географічного меридіана. За позитивний напрямок відліку пеленгу

вибирають напрямок обертання годинникової стрілки. За допомогою радіопристроїв можна визначити такі геометричні величини:

- пеленга  $L$ / шуканої точки  $M$  з фіксованої точки  $A$  (рис. 1.3 а);
- пеленга  $A$  фіксованої точки  $A$  з шуканої точки  $M$  (рис. 1.3 б);
- відстань  $R$  від фіксованої точки  $A$  до точки  $M$ , що шукається (рис. 1.3 в);
- різницю відстаней  $R_1 - R_2$  від точки  $M$  до двох фіксованих точок  $A$  і  $B$  (рис. 1.3 г);
- суму відстаней  $R_1 + R_2$  від точки  $M$  до двох фіксованих точок  $A$  і  $B$  (рис. 1.3 д).

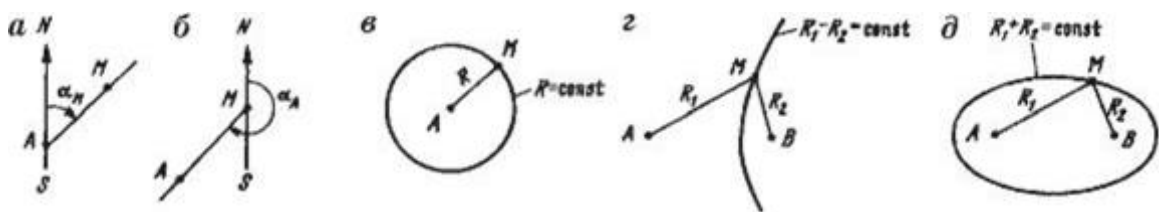


Рис. 1.3 Визначення пеленгу

Кожному вимірному значенню будь-якої з перерахованих величин відповідає лінія положення — геометричне місце точок, котрим величина, визначальне розташування об'єкта, постійна. При постійному пеленгу точки, що шукається з фіксованої (рис. 1.3а), як і при постійному пеленгу фіксованої точки з шуканої (рис. 1.3 б), лінії положення є прямими. При постійній відстані від точки до фіксованої лінії положення є коло з центром в точці  $A$  і проходить через точку  $M$  (рис. 1.3 в). При постійній різниці відстаней від точки до двох фіксованих ліній положення є гіперболою, що проходить через точку  $M$  (рис. 1.3г); фіксовані точки  $A$  та  $B$  - фокуси гіперболи. При постійній сумі відстаней від точки до двох фіксованих ліній положення є еліпсом, що проходить через точку  $M$  (рис. 1.3 д); точки  $A$  та  $B$  - фокуси еліпса.

Для визначення розташування об'єкта на площині треба знайти дві лінії положення, що перетинаються. Точка перетину цих ліній дасть місце розташування. Такий метод визначення називається позиційним. Залежно від виду використовуваних ліній положення розрізняють такі методи позицій:

- пеленгаційний - при якому місце розташування об'єкта визначається як точка перетину двох прямих (рис. 1.4 а);
- далекомірний - при якому місце розташування об'єкта - точка перетину двох кіл (рис. 1.4 б);
- різницево-далекомірний - при якому місце розташування об'єкта - точка перетину двох гіпербол (рис. 1.4 в);
- сумарно-дальномірний - при якому місце розташування об'єкта - точка перетину двох еліпсів (рис. 1.4 г);
- далекомірно-пеленгаційний - при якому місце розташування об'єкта - точка перетину прямої з колом (рис. 1.4 д).

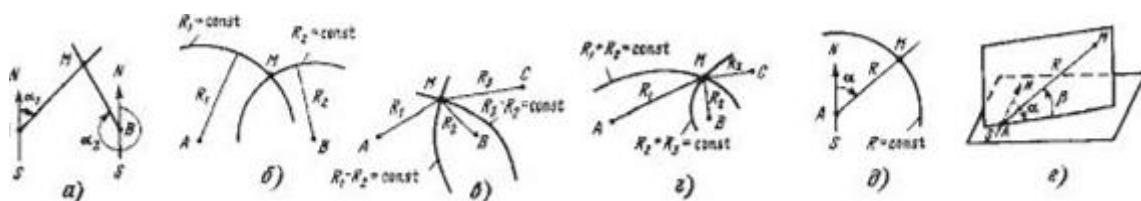


Рис. 1.4. Методи позицій

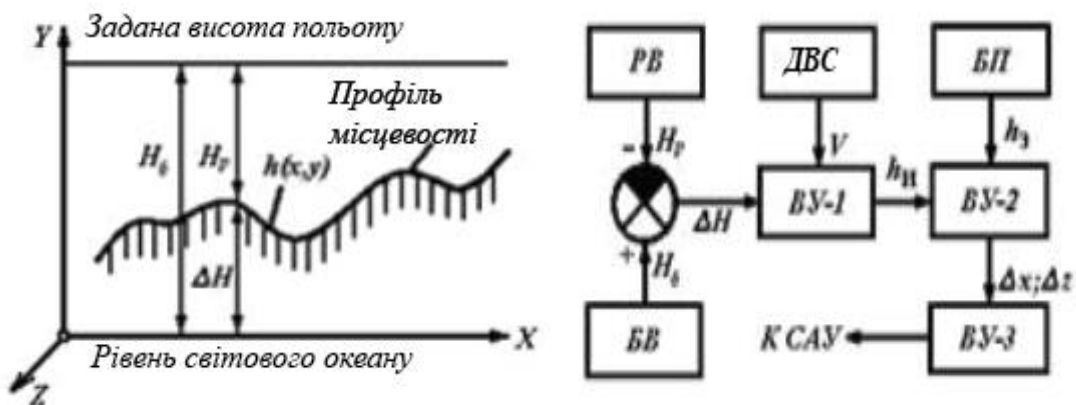
Пеленгаційний та різницево-дальномірний методи широко застосовують у радіонавігації для визначення власного положення рухомого об'єкта щодо радіомаяків (РПДУ), що встановлюються в РНТ. Ці методи використовують також у радіолокації – у пасивних РЛС. Дальномірний метод застосовують у радіонавігації. Крім того, далекомірний, а також сумарно-далекомірний методи використовують у радіолокації - в активних РЛС. Дальномірно-пеленгаційний метод - основний в однопозиційній радіолокації, так як він єдиний з розглянутих методів дозволяє визначити місце розташування об'єкта з однієї точки.

При місцевизначенні об'єкта у просторі постійному значенню кожної з перерахованих геометричних величин відповідає поверхня можливих розташування об'єкта, яку називають поверхнею положення. Так, постійного значення відстані від фіксованої точки до шуканої відповідає поверхня положення у вигляді сфери. При постійному значенні суми від точки, що шукається, до фіксованих поверхнею положення є еліпсоїд. При постійному значенні горизонтальної площині шуканої

точки з фіксованою поверхнею положення буде вертикальна площина, що проходить через ці точки.

Перетин двох поверхонь положення дає лінію положення у просторі. Точка перетину лінії положення та третьої поверхні визначає місце розташування об'єкта у просторі. Якщо, наприклад, використовувати далекомірно-пеленгаційний метод, місце об'єкта дає точка перетину прямої зі сферою. У цьому випадку для однозначного визначення напрямку на об'єкт необхідно здійснити пеленгацію в двох площинах, що перетинаються, як правило, — горизонтальній і вертикальній (рис. 1.4 е). Кут між північним напрямком географічного меридіана і проекцією напрямку на об'єкт на горизонтальну площину називається азимутом. Кут ( $\beta$ ) між напрямком на об'єкт і горизонтальною площиною називається кутом місця. Відстань  $R$  від радіолокатора до об'єкта називається похилою дальністю. Як бачимо, завдання визначення об'єкта в просторі далекомірно-пеленгаційним методом зводиться до вимірювання трьох координат: похилої дальності, азимуту і кута місця.

Оглядово-порівняльний метод. Цей метод заснований на визначенні будь-яких характеристик місцевості, над якою рухається ЛА, або характеристик геофізичних полів Землі та порівнянні їх із відповідними характеристиками, закладеними на згадку про систему. У системах, що реалізують даний метод, використовується кореляційний зв'язок між цими характеристиками, а для відхилень від заданої траєкторії польоту – різного типу кореляційні пристрої.



а)

б)

Рис.1.5 Геометричні елементи (а), що використовуються в оглядово-порівняльній системі, та структурна схема системи (б): БВ – барометричний висотомір; ДВШ - доплерівський вимірювач швидкості

Такі системи називають також кореляційно-екстремальними, оскільки екстремум (максимум і мінімум) кореляційної функції виміряних і закладених у пам'ять системи характеристик досягається при точному відповідності траєкторії польоту заданої.

Прикладом реалізації оглядово-порівняльного методу може бути система, що використовує інформацію про поле висот рельєфу місцевості  $h(x, y)$  (рис.1.5).

У блок пам'яті БП перед польотом вводиться інформація  $h_e(x, y)$  про розподіл висот місцевості деякою смугою вздовж маршруту польоту. Поточна висота польоту  $H_n$  визначається радіовисотоміром РВ і порівнюється з барометричною висотою  $H_b$ . Обчислювальні пристрої ВУ визначають кореляційну функцію виміряного поля висот  $h_p(x, y)$  і  $h_e(x, y)$  виробляють сигнали  $x$  і  $y$  корекції польоту для системи автоматичного управління САУ. Похибка визначення МП у такій системі може становити кілька десятків метрів.

При оглядово-порівняльному методі немає необхідності у зовнішніх по відношенню до ЛА радіостанціях, ослаблено вплив перешкод і відсутні похибки, що накопичуються. Однак складність методу, що вимагає апріорної інформації про характеристики місцевості на всьому маршруті і великий обсяг пам'яті системи, а також труднощі обчислення кореляційної функції обмежують широке його застосування.

## 1.2. Класифікація навігаційних пристроїв і систем

Навігація є важливою в авіації, і розуміння різних типів техніки в цій галузі має вирішальне значення для пілотів, диспетчерів повітряного руху та всіх, хто бере участь у забезпеченні безпеки польотів. Серед широко використовуваних методів навігації - лоцманська провідка, розрахунок мертвих точок, радіонавігація та супутникова навігація. Кожен із цих методів пропонує свої особливі переваги, а їх

застосування залежить від таких факторів, як місце розташування, погодні умови та обладнання літака.

Лоцманська проводка — це класичний метод навігації, який спирається на візуальні посилання на орієнтири або контрольно-пропускні пункти. Ця техніка вимагає хороших візуальних умов і повного розуміння рельєфу та географічних особливостей нижче. Навпаки, DeadReckoning — це техніка, яка ґрунтується на оцінці поточної траєкторії, швидкості руху та позиції з урахуванням попереднього розташування літака та його відомих моделей руху. Хоча вони не використовуються так часто, як раніше, принципи DeadReckoning все ще можуть допомогти пілотам, наприклад, оцінити очікуваний час прибуття (ETA) або запропонувати необхідні коригування курсу, щоб залишатися на бажаному курсі.

У той час як пілотажні методи та DeadReckoning мають більш аналоговий підхід, радіонавігація та супутникова навігація покладаються на передові технології для більш точного та точного позиціонування. Радіонавігація використовує наземні радіомаяки та приймачі на борту літака, щоб точно визначити їх місцезнаходження, тоді як супутникова навігація використовує супутники GPS, щоб надавати дані про місцезнаходження літака в реальному часі. Ці сучасні підходи продовжують покращувати безпеку та ефективність авіаперельотів, дозволяючи пілотам точно орієнтуватися на складних маршрутах і в повітряному просторі.

Авіаційна навігація складається з різних методів планування, відстеження та керування рухом літаків.

Навігація з підрахунком мертвої точки — це метод оцінки поточного положення за допомогою напрямку руху, швидкості та часу. Він враховує помилки відповідно до справжньої півночі та магнітної півночі. У випадку наземних транспортних засобів необхідно враховувати лише їхню власну швидкість, але літаки та кораблі повинні розраховувати положення, враховуючи океанські течії, вітер тощо. Насправді всі навігаційні системи зараз використовують цей метод підрахунку мертвих точок. Оскільки точність цього методу зменшується зі збільшенням часу та відстані, для визначення точного положення використовується астрономічна навігація, а потім від цієї точки вперед використовується метод

відліку мертвих місць. Традиційний метод підрахунку мертвих точок використовував плоттер (транспортир, прикріплений до прямої лінійки) або бортовий комп'ютер для визначення положення. Зараз він розраховується автоматично за допомогою електронного борткомп'ютера.

Лоцманство — це техніка візуальної навігації, яка передбачає порівняння навколишньої місцевості та орієнтирів з картою. Цей процес вимагає хорошої видимості, усвідомлення навколишнього середовища та здатності точно тлумачити карту.

Для навігації за допомогою лоцманської проводки пілоти зазвичай дотримуються впізнаваних об'єктів, таких як дороги, річки та берегові лінії. Знання орієнтирів, таких як міста, будівлі та природні об'єкти, допомагає пілотам зберігати правильну позицію та прямувати за запланованим маршрутом. Лоцманська проводка, як правило, більш здійсненна на менших висотах, де видимість краща.

Радіонавігація використовує радіомаяки або засоби для точного визначення положення літака та підтримки його курсу. Найпоширеніші радіонавігаційні засоби містять:

- VOR (VHF Omnidirectional Range): маяк VOR випромінює сигнали в усіх напрямках, дозволяючи пілоту визначити свій пеленг відносно маяка. Ця інформація в поєднанні з положенням інших маяків VOR допомагає точно визначити місцезнаходження літака.
- ILS (система посадки за приладами): ILS необхідна для безпечної експлуатації літака, особливо в умовах поганої видимості, забезпечуючи горизонтальне та вертикальне наведення для заходу на посадку та посадки.
- ADF (автоматичний пеленгатор): системи ADF отримують сигнали від ненаправлених маяків (NDB), а прилад ADF відображає пеленг до NDB.

Системи супутникової навігації, такі як GPS (система глобального позиціонування), використовують сигнали з мережі супутників для визначення точного положення літака, висоти, швидкості та часу. Ці системи є високонадійними, точними та значною мірою замінили традиційні методи навігації, такі як підрахунок мертвої точки та лоцманська проводка.

Технологія GPS підвищує точність інших навігаційних приладів, наприклад електронного компаса, який обчислює справжній курс, а не покладається на магнітний компас літака, на який можуть впливати коливання магнітного поля між магнітною північчю та справжньою північчю.

Підсумовуючи, методи авіаційної навігації, такі як розрахунок мертвих точок, пілотування, радіонавігація та супутникова навігація, дозволяють пілотам безпечно та точно орієнтуватися в небі, надаючи інформацію про положення літака, курс, швидкість, висоту та інші важливі аспекти польоту. З розвитком технологій ці методи продовжують розвиватися та вдосконалюватися, забезпечуючи безпечніші польоти для всіх.

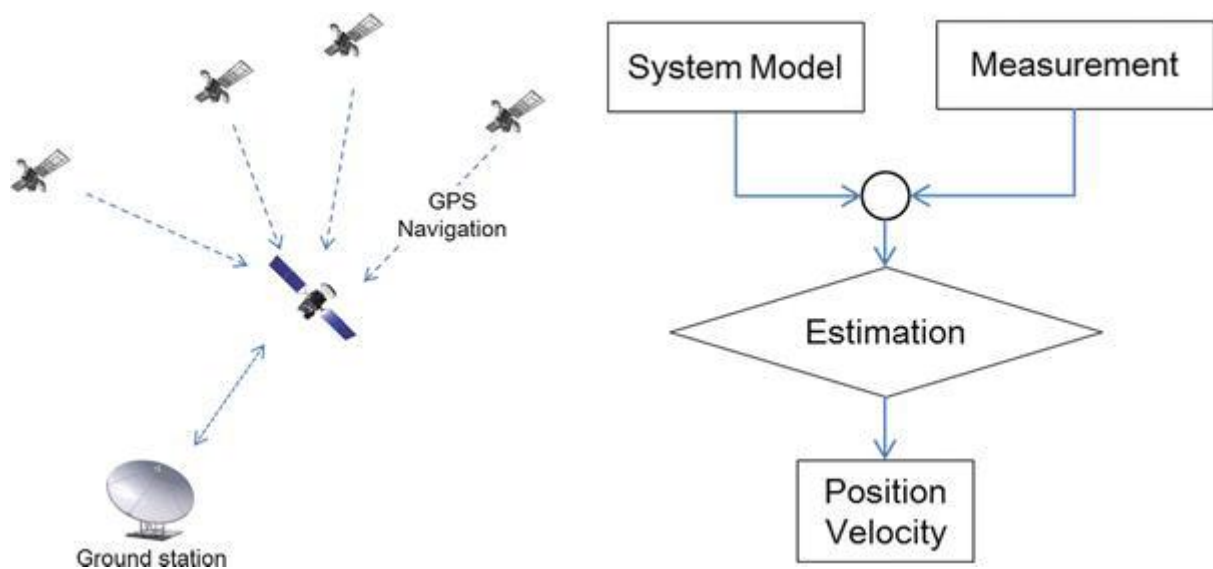


Рис. 1.6. Схема завершення орбіти через GPS

GNSS складається з космічної частини, частини наземного керування та частини користувача, які органічно пов'язані одна з одною (рис. 1.6). Космічна частина складається приблизно з 30 згрупованих супутників на космічній орбіті. Коли термін служби супутників закінчується, запускаються нові супутники, щоб підтримувати постійну кількість. Похибка вимірювання зменшується зі збільшенням кількості супутників, а через переривання зв'язку із Землею додається ще більше супутників. Для підвищення точності використовуються такі методи, як SBAS і DGPS. Наземна частина управління являє собою засоби управління на землі, які контролюють і регулюють правильне обертання супутників по орбіті. GPS має одну основну станцію керування та чотири станції безпілотного спостереження. Вони



відстежують, чи рухаються супутники на певній орбіті, і виконують орбітальне маневрування, якщо будь-який супутник зміщується з орбіти.

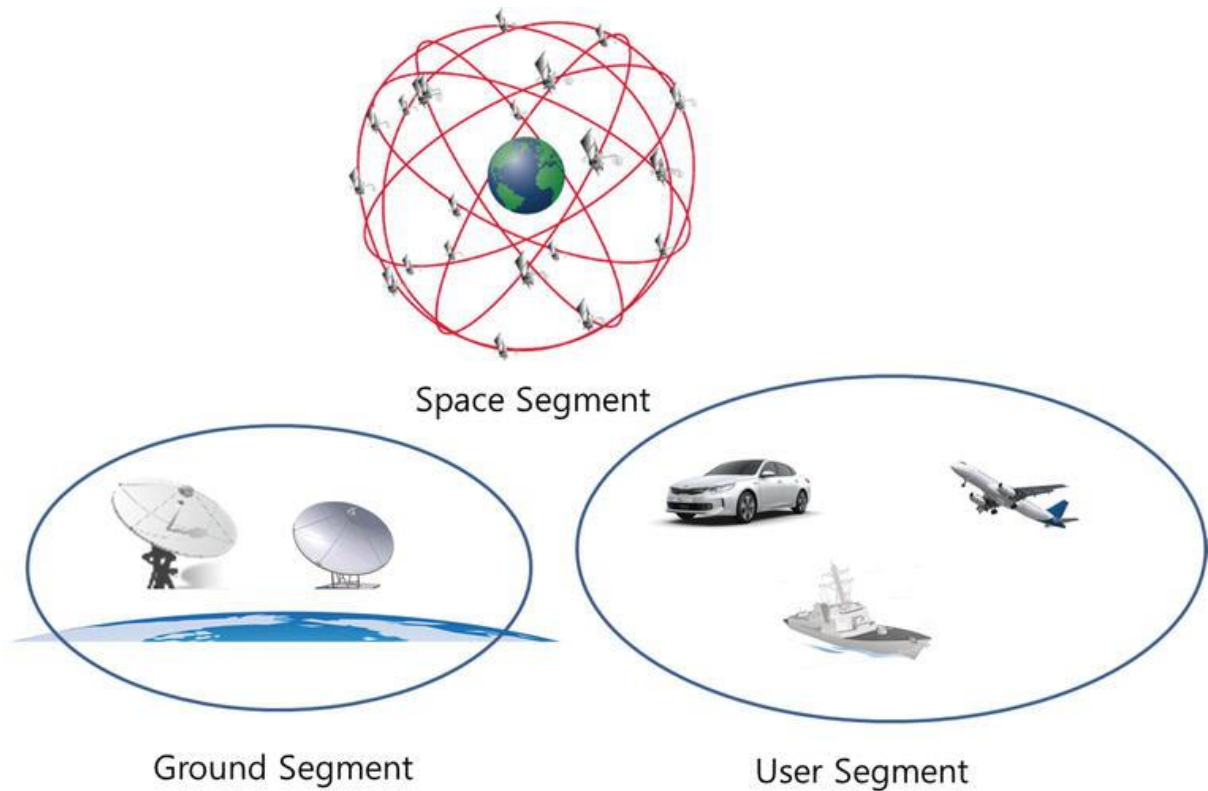


Рис.1.7. Компоненти систем GPS

### Система зчеплення GPS/INS

INS і GPS доповнюють один одного. INS виявляє навігаційну інформацію (положення, швидкість і положення) рухомих тіл за допомогою акселерометра та гіроскопа. Точність і вартість INS експоненціально пропорційні, а її похибка зростає з часом. Однак вона більш стабільна, ніж інші системи, оскільки може отримувати інформацію про три осі X, Y і Z і не має проблем зі зв'язком. Його перевага полягає в тому, що він не піддається впливу зовнішнього середовища та забезпечує високоточні та безперервні навігаційні дані протягом короткого плавання. GPS — це система, яка визначає положення та швидкість рухомих тіл шляхом вимірювання псевдодальності до рухомих тіл від принаймні 4 із 24 супутників, що обертаються навколо Землі. GPS відносно недорогий, не накопичує помилки з часом, а діапазон помилок є фіксованим. Однак його недоліком є те, що продуктивність падає, якщо

виникають сильні перешкоди або кількість видимих супутників менше чотирьох. Крім того, видимість і зв'язок можуть бути обмежені.

Якщо ви проектуєте навігаційну систему, використовуючи лише один метод, знадобляться великі витрати, щоб отримати бажану продуктивність. Однак високопродуктивні датчики можна отримати за низьку вартість, якщо врахувати додаткову продуктивність. Таким чином, навігаційна система наземного обладнання та орбітальний апарат космічного корабля покликані доповнювати один одного. Ми можемо більш ефективно розробляти навігаційні системи, використовуючи INS і виконуючи періодичне калібрування за допомогою GPS. Крім того, це може зробити загальну навігаційну систему більш надійною, ніж якщо використовувати лише один метод. Сучасні дослідження намагаються об'єднати ці дві системи, використовуючи методи інтеграції, які можна в основному розділити на тісні та вільні системи інтеграції INS/GPS. Однією з характеристик цих інтеграційних систем є те, що продуктивність може бути покращена шляхом покращення продуктивності відстеження коду та циклів відстеження несучої GPS-приймача.

Дані, отримані від приймача GPS (псевдодальність, швидкість псевдодальності) і дані INS (положення, швидкість, положення), містять багато помилок. INS і GPS не виконують окремої фільтрації, але ці помилки оцінюються одним фільтром Калмана. У цій системі INS і GPS виконують вимірювання та фільтрацію окремо.

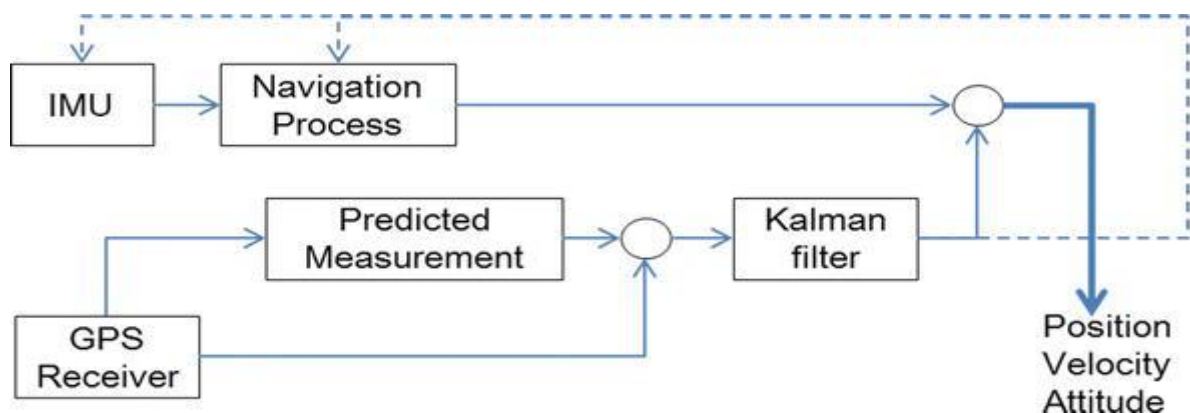


Рис. 1.8. Тісно пов'язані системи інтеграції INS/GPS

Слабо зв'язана система може бути меншою та швидшою, ніж тісно зв'язана система. Однак шуми також посилюються. Продуктивність слабо пов'язаної та тісно пов'язаної інтеграції однакова, якщо доступність GPS є хорошою протягом усього тестового запуску. Коли доступність GPS низька, як у міському каньйоні, тісно пов'язана інтеграція працює краще, ніж слабо пов'язана інтеграція. Позиційна точність найкраща, коли використовуються як кодові, так і доплерівські вимірювання, і найгірша, коли використовуються лише доплерівські вимірювання. Точність швидкості також найкраща, коли використовуються як кодові, так і доплерівські вимірювання, і найгірша, коли використовуються лише кодові вимірювання.

Аеронавігаційні карти є важливими інструментами в авіаційній навігації, оскільки вони надають пілотам важливу інформацію, зокрема межі повітряного простору, повітряні шляхи, маршрутні точки та дані аеропорту. Існує два основних типи аеронавігаційних карт: карти правил візуального польоту (VFR) і карти правил польотів за приладами (IFR). Карти VFR розроблені для пілотів, які здійснюють політ у візуальних умовах, тоді як карти IFR використовуються під час польотів за приладами.

На діаграмах відображаються різні небезпеки, як-от перешкоди, місцевість і обмеження повітряного простору, які можуть бути критичними для безпечного планування польоту. Зазвичай вони оновлюються за регулярним графіком, щоб відобразити зміни в навігаційних даних і структурі повітряного простору.

Бортові комп'ютери є важливими інструментами для пілотів, які допомагають у навігаційних обчисленнях, таких як курс, курс, швидкість руху та орієнтовний час прибуття. Бортові комп'ютери можуть допомогти пілотам визначити вплив таких змінних, як вітер, шлях і відстань, на їхній план польоту.

## EDM

EDM включає GNSS, який представлений GPS. Сфера застосування дуже широка і включає наземні транспортні засоби, кораблі та літаки. У цьому розділі пояснюється використання GNSS для супутників і зондів глибокого космосу. Визначення поточного положення та швидкості супутника називається «визначенням орбіти». Проблему визначення орбіти можна в основному розділити на частину моделі системи, частину моделі вимірювання та частину техніки оцінки. Кожен з них можна пояснити наступним чином. По-перше, модель системи — це математична модель, яка представляє орбітальний рух і різні конкретні змінні. Його потрібно певною мірою апроксимувати, оскільки в процесі виведення рівняння руху включено багато припущень. По-друге, для моделі вимірювання використовується навігаційне рішення GPS або дані відстеження (пряма видимість, кут місця, кут азимута тощо) наземної станції. Тут значення вимірювань не можуть бути справжніми значеннями через помилки датчика та інші причини, і завжди містять деякі помилки. По-третє, частина техніки оцінки оцінює оптимальні прогнозовані значення, тобто положення та швидкість супутника, використовуючи наближену модель системи та неточні значення вимірювань. Серед цих методів оцінювання широко використовуються пакетний режим і послідовна модель, наприклад фільтр Калмана.

VOR — це наземна радіонавігаційна система, яка дозволяє пілотам визначати своє місцезнаходження та відстежувати траєкторію польоту та відстань до станції VOR. Система використовує дуже високочастотні (VHF) радіосигнали, що передаються станціями VOR, які зазвичай розташовані поблизу аеропортів, утворюючи мережу навігаційних засобів. Налаштувавши свій приймач VOR на певну частоту, пілоти можуть отримати інформацію про свій пеленг відносно станції та використовувати її для навігації.

Інерціальна навігаційна система — це автономна навігаційна система, яка безперервно обчислює положення, напрямок і швидкість основного тіла за допомогою власного акселерометра, датчика обертання та арифметичного блоку, не отримуючи жодної зовнішньої інформації. Хоча GPS пропонує точну навігаційну

систему, вона має обмеження в космосі, глибоких морях, тунелях і подібних місцях, оскільки GPS працює лише тоді, коли він може приймати сигнали від супутника. Крім того, INS може уникнути проблем із перешкодами GPS. Оскільки INS є PMM, помилка збільшується з часом. Крім того, ціна зростає в геометричній прогресії, оскільки підвищується точність. Одним із критичних факторів у INS є точне введення початкового положення та швидкості. Після цього дані, виміряні акселерометром і датчиком обертання, послідовно інтегруються. Акселерометр надає дані про положення, тоді як датчик обертання (гіроскоп) надає дані про положення. На рисунку 1.9 показаний приклад безплатформної інерціальної навігаційної системи. Дані про швидкість і положення можна отримати шляхом подвійного інтегрування прискорення. Він оснащений акселерометром, який враховує прискорення дотичної та векторної складових.

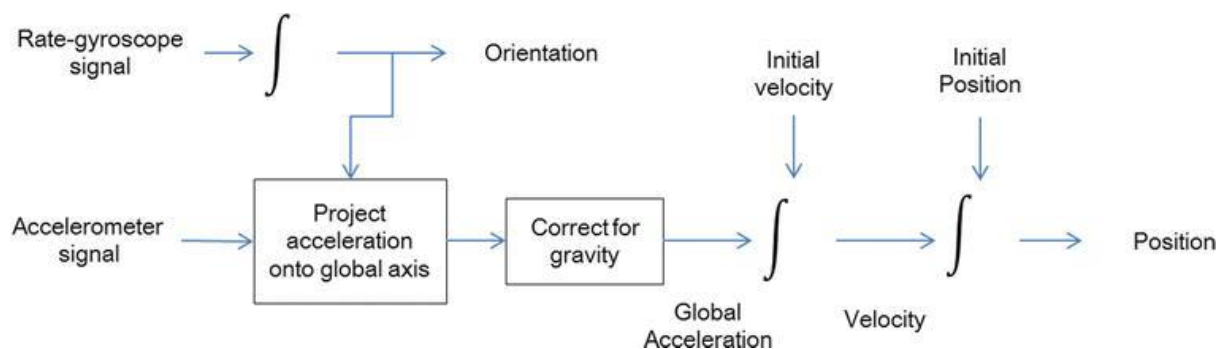


Рис.1.9.Принцип роботи безплатформних інерціальних навігаційних систем

### 1.3. Характеристика оглядово-порівняльних методів навігації

Сутність оглядово - порівняльного способу навігації полягає в зіставленні зображення ділянки реальної території у районі розташування об'єкта із зображенням території тієї самої ділянки, заздалегідь записаному якомусь зберігачі інформації. Оглядово-порівняльний метод навігації так само, як і позиційний, заснований на визначенні свого розташування щодо зовнішніх орієнтирів, але має ряд відмінностей.

По-перше, оглядово-порівняльний метод передбачає огляд ділянки місцевості, тобто спостереження за всією сукупністю орієнтирів одночасно.

По-друге, вихідна сукупність орієнтирів є практично нескінченне число точок (у позиційному методі досить трьох орієнтирів) і має реальну схожість з поверхнею положення, яка в позиційному методі будується тільки після вимірювання.

По-третє, в оглядово-порівняльному методі навігації широке застосування знайшли навігаційні поля на основі аномальних складових геофізичних полів, які мають випадковий характер і не піддаються аналітичному опису, що зумовлює відсутність прямих алгоритмів розв'язання навігаційного завдання.

По-четверте, за результатами вимірювань в оглядово- порівняльному методі не формується геометричне місце точок можливого положення та рівняння зв'язків, яке можна вирішувати щодо координат розташування, а формується карта ділянки реального розташування об'єкта.

По-п'яте, математичний апарат в оглядово- порівняльному методі повинен вирішувати завдання зіставлення двох зображень (еталонної карти та ділянки реального розташування об'єкта). У математиці таке завдання можна вирішити кореляційним апаратом теорії ймовірностей, визначальним кореляцію – «взаємозв'язок» двох чи кількох сукупностей даних.

Основною перевагою оглядово-порівняльного методу навігації є потенційно більша точність розв'язання навігаційної задачі порівняно з іншими методами. Це обумовлено великим обсягом вимірюваної та заздалегідь формованої навігаційної інформації, а також високоефективним алгоритмом обробки інформації, який практично інваріантний до перешкод вимірювань. З іншого боку, названі особливості оглядово-порівняльного методу характеризують його складнішими порівняно з позиційним. Крім простоти, у позиційного методу є й інша дуже важлива для функціонування навігаційних систем перевага. Позиційний метод забезпечує розв'язання навігаційної задачі в будь-якій точці простору, де доступна відповідна вимірювальна інформація, незалежно від того функціонувала до цього моменту навігаційна апаратура чи ні.

Загальним недоліком і позиційного та оглядово-порівняльного методів навігації є їхня залежність від зовнішньої інформації, доступність до якої може бути



обмежена через природні та штучні перешкоди. Цей недолік відсутня у методі числення шляху.

Класифікація оглядово-порівняльних систем навігації

Оглядово-порівняльні системи навігації класифікуються за такими ознаками:

- залежно від фізичної природи сигналів, що сприймаються –оптичні, інфрачервоні, радіаційні, радіотехнічні;
- залежно від ступеня активності вимірювача – пасивні (які використовують прямі сигнали орієнтирів) та активні (отримуючі зображення поверхні Землі та орієнтирів шляхом їх опромінення та прийому відбитих сигналів);
- за характером автономності - обмежено-автономні (засновані на використанні природних, існуючих у природі орієнтирів) та неавтономні (засновані на використанні штучних наземних або небесних орієнтирів);
- залежно від способу відтворення інформації на екрані - поелементні та проекційно- променеві;
- залежно від кількості вимірюваних орієнтирів – одноорієнтирні, багатоорієнтирні, з безперервним потоком орієнтирів;
- за рівнем автоматизації – візуальні, напівавтоматичні, автоматичні.

Навігаційний зміст оглядово-порівняльних методів вимірів.

Навігаційний зміст методів вимірювань визначається видами орієнтирів та їх кількістю. В одноорієнтирних системах здійснюється порівняння фізичних параметрів орієнтиру (площа, особливості геометричної форми, спектра випромінювання та ін), закладених на згадку про систему, з вимірними.

З борту літального апарату вимірюються заплановані фізичні параметри орієнтиру та визначаються навігаційні параметри вектора місцезнаходження орієнтиру щодо горизонтальної приладової системи координат. Істотним недоліком таких систем є їх низька схибленість. Вони можуть захоплювати незаплановані орієнтири, які за своїми фізичними параметрами близькі до справжніх.

У багатоорієнтирних системах одночасно використовується кілька запланованих орієнтирів. У пам'яті таких систем зберігаються відомості як про параметри орієнтирів, а й координати їх взаємного становища. Перевагою багатоорієнтирної

системи є значний обсяг навігаційної інформації, менша залежність від втрати частини запланованих орієнтирів та впливу на перешкоди. Однак необхідно мати складну електронну обчислювальну машину.

- Телевізійні системи

Основними функціональними компонентами телевізійної системи є телевізійна камера, що передає, і відеоприймальний пристрій.

У більшості авіаційних телевізійних систем використовуються труби, що передають, робота яких заснована на принципі зовнішнього (суперортікони) або внутрішнього (відикони) фотоефекту, внаслідок якого на чутливих пластинах утворюється потенційний рельєф, що відповідає рівню освітленості проєктованого зображення.

Відеоприймальний пристрій після посилення, фільтрації та детектування здійснює синхронну розгортку отриманого телесигналу та відтворює передане зображення на екрані монітора. Недоліками телевізійної системи навігації є технічна складність, велика чутливість до перешкод і обмеження видимості цілей.

Телевізійна система може нормально працювати тільки при оптичній видимості цілей і при достатньому їх висвітленні.

- Інфрачервоні системи

Огляд поверхні Землі або виявлення цілей можна проводити приладами, що сприймають інфрачервоне випромінювання. Будь-яке тіло, температура якого відрізняється від температури навколишнього середовища, має інфрачервоний контрастом. Інфрачервоне випромінювання енергії відповідає довжинам хвиль 700...300 000 нм і розташоване в частині спектра, невидимої для людського ока. Існують два методи виявлення орієнтирів за допомогою інфрачервоного випромінювання – пасивний та активний.

Пасивний метод заснований на використанні випромінювання, яке випускається самим орієнтиром. Він не демаскує літальний апарат.

При активному методі поверхня Землі або орієнтира висвітлюється інфрачервоним прожектором, змонтованим на корпусі апарату.



Відбиті випромінювання уловлюються бортовими індикаторами. Інфрачервоні випромінювання сприймаються чутливими елементами, які можна розділити на дві групи:

- теплові (термічні), які використовують тепловий ефект інфрачервоного випромінювання;
- фотоелектричні, які використовують квантові ефекти.

До теплових чутливих елементів відносяться термометри, болометри, піроелектричні приймачі та ін. Теплові приймачі інфрачервоного випромінювання мають неселективну чутливість, оскільки однаково реагують на всі довжини хвиль випромінювання. До теплових приймачів висуваються такі вимоги: висока чутливість, мала постійна часу та відсутність мікрофонного ефекту.

Фотоелектричні чутливі елементи реагують безпосередньо на окремі кванти інфрачервоного випромінювання і мають селективну чутливість до випромінювання з різними довжинами хвиль.

Інфрачервоні прилади мають порівняно більшу інерційність та обмеженість за дальністю дії. Туман або дощ або інші несприятливі умови знижують здатність їхнього ефективного застосування, а хибне джерело випромінювань може викликати значне відхилення літального апарату від мети.

- Радіолокаційні системи

Для радіолокації використовуються радіохвилі в діапазоні довжин хвиль близько 1...3 см. Саме для таких радіохвиль атмосфера Землі є повністю прозорою. Коротші хвилі помітно поглинаються молекулами кисню та водяної пари. Використання довгохвильових радіовипромінювань потребує наявності на борту антен великих розмірів.

Існують два методи оглядово-порівняльної радіолокації – пасивний та активний.

Активна радіолокація заснована на отриманні зображень поверхні Землі шляхом її опромінення радіохвилями та прийому відбитих сигналів. Пристрій, що реалізує активну радіолокацію, має назву панорамного радіолокатора. Передавач

панорамного радіолокатора посилає з борту літального апарата у бік Землі сигнали як короткочасних імпульсів.

Практична точність отримання місця літального апарату складає сотні метрів. Основною перевагою панорамних радіолокаторів є можливість огляду поверхні Землі в будь-яких умовах видимості – вдень та вночі, у хмарах та тумані.

Пасивна радіолокація використовує власні випромінювання орієнтирів. Астрономічні орієнтири (Сонце, Місяць, інші небесні світила та радіотуманності), а також наземні та повітряні орієнтири випромінюють електромагнітні хвилі в широкому діапазоні хвильового спектру і, зокрема, в ультракороткому. Пасивна радіолокація не демаскує літальний апарат. Точність визначення координат місця може бути такою самою, як і у панорамних радіолокаторів.

Прилади, що дозволяють виявити орієнтири, контрастні в ультракороткохвильовому спектрі випромінювань, називаються радіометрами. Радіометри містять скануючу антену та індикатор, що дозволяє визначити положення орієнтиру. Особливістю радіометрів і те, що приймають сигнали радіовипромінювань у вигляді випадкових флуктуаційних шумів.

#### **1.4. Принцип дії оглядово-порівняльної системи навігації**

Суть оглядово-порівняльних методів навігації полягає у визначенні місцезнаходження об'єкта шляхом порівняння місцевості, що зображена на карті або знаходиться в системах пам'яті, з її фактичним виглядом, що спостерігається за допомогою бортових оглядових пристроїв (прицілів, візирів, телевізійних, радіолокаційних та інших) або візуально. Якщо зображення місцевості на карті та її вид збігаються, то місцезнаходження об'єкта вважається пізнаним, а координати його визначені. Крім цього, можуть бути визначені координати місцезнаходження орієнтирів, цілей, аеродромів та інших об'єктів, а також різних астрономічних орієнтирів.

Найбільш поширеним і використовуваним майже всіх видах пілотованих літальних апаратів є візуальне орієнтування. У польоті член екіпажу спостерігає через вікно кабіни або за допомогою оптичного прицілу (візира) навколишню

місцевість та порівнює її з географічною картою. Практична точність такого орієнтування без спеціальних приладів близько 0,3...0,6 км на висотах польоту 2...3 км та 2...4 км – на висотах 6...10 км. Використання оптичного візира дозволяє визначити місцезнаходження з точністю близько 4% від висоти польоту.

Достоїнствами оглядово-порівняльних методів навігації є:

- висока достовірність і точність вимірювань, а також відсутність похибок, що накопичуються;
- високий рівень інформаційної надмірності вимірювань;
- широка можливість використання неавтоматизованих (візуальне орієнтування) та автоматизованих засобів вимірювання.

Однак у оглядово-порівняльних методів існують недоліки та обмеження. Вимірювання можливі лише за видимості поверхні Землі чи орієнтирів. Вплив перешкод – хмарності, туманів, недостатнього освітлення – може суттєво знизити ефективність оглядово-порівняльної навігації. Крім того, при польотах над безорієнтирною місцевістю (моря, пустелі тощо) цей вид навігації застосовувати не можна.

Для успішної реалізації оглядово-порівняльного методу навігації потрібно досить повне забезпечення маршрутними картами або необхідним запасом апріорної інформації про заплановані для спостереження орієнтири.

У міру розвитку навігаційної техніки, використання інфрачервоних, радіолокаційних та інших засобів огляду, а також електронних засобів пам'яті багато з перерахованих вище недоліків та обмежень успішно усуваються. На сучасних ЛА знаходять застосування автоматизовані оглядово-порівняльні системи навігації.

Оглядово-порівняльні системи (ОПС) призначені для визначення розташування ЛА за результатами порівняння деяких спостережуваних за допомогою бортових датчиків фізичних параметрів, що характеризують місцевість, над якою відбувається політ, з еталонними параметрами, що зберігаються в пам'яті системи. У радіотехнічних ОСС спостерігаються параметрами є висоти точок рельєфу місцевості, дальність і кутові координати радіолокаційних орієнтирів на місцевості,

а також інші величини, що вимірюються радіонавігаційними та радіолокаційними пристроями та системами.

Класифікація ОПС. Оглядово-порівняльні системи навігації класифікуються за такими ознаками.

Залежно від фізичної природи сигналів, що сприймаються, системи поділяються на оптичні, інфрачервоні, радіаційні та радіотехнічні.

Залежно від ступеня активності вимірювача системи можуть бути пасивними, що використовують прямі сигнали орієнтирів (штучних і природних), та активними, що отримують зображення поверхні Землі та орієнтирів шляхом їх опромінення та прийому відбитих сигналів.

За характером автономності ОПС поділяються на обмежено-автономні (засновані на використанні природних орієнтирів, що існують у природі) і неавтономні (засновані на використанні штучних наземних або небесних орієнтирів).

Залежно від способу відтворення інформації на екрані розрізняють поелементні та проекційно-променеві ОПС.

Залежно від кількості вимірюваних орієнтирів системи можуть бути одноорієнтирні, багатоорієнтирні та з безперервним потоком орієнтирів.

За рівнем автоматизації системи поділяються на візуальні, напівавтоматичні та автоматичні.

ОПС можуть застосовуватися для ближнього огляду, необхідного під час зльоту, посадки або наведення на ціль; для маневрування у зоні аеродромів; керування польотом по заданій траєкторії; вивчення місцевості. ОПС можуть забезпечувати як відображення навігаційної обстановки, а й використовуватися для літаководіння, корекції інших навігаційних вимірювачів, управління різними бортовими системами.

Принцип дії ОПС. До польоту складається еталонна карта місцевості (ЕКМ), з якої передбачається політ. Під час польоту бортові датчики Ла відтворюють поточне зображення місцевості, тобто. дають поточну карту місцевості (ПКМ), яка порівнюється у спеціальному пристрої з ЕКМ. За наслідками порівняння знаходять

відхилення поточного положення ЛА (точка  $O_1$  на рис. 1.10) від заданого (точка  $O$ ). Поздовжнє  $\Delta x$  і поперечне  $\Delta z$  відхилення ЛА від точки  $O$  обчислюється по зсуву ЕКМ, який необхідний для збігу еталонної та поточної карт місцевості. Значення  $\Delta x$  і  $\Delta z$  можуть бути використані або для виведення ЛА на задану траєкторію, або для корекції основної (грубою) навігаційної системи ЛА.

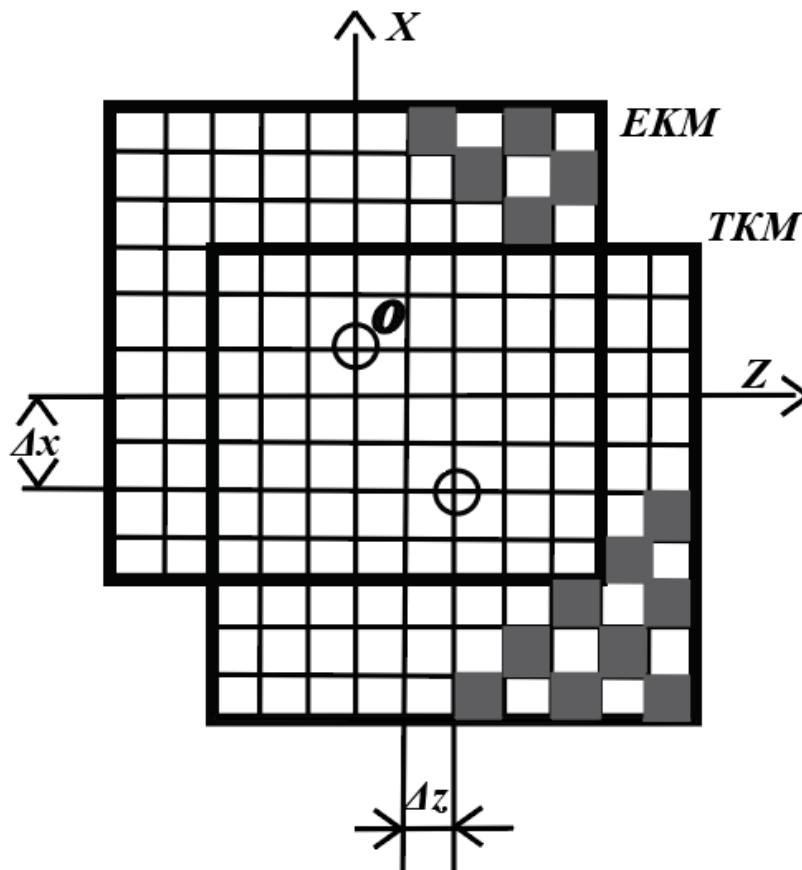


Рис. 1.11. Зміщення еталонної та поточної карток місцевості при відхиленні ЛА від заданої траєкторії

Структурна схема ОСС. Необхідними елементами ОПС (рис. 1.11) повинні бути датчики поточної ДПКМ та еталонної ДЕКМ карт місцевості, а також формувач поточної карти ФПКМ, який перетворює сигнали ДПКМ у форму, зручну для порівняння з ЕКМ. Зазвичай ФТКМ виконує дискретизацію за часом, квантування за рівнем та масштабування за швидкістю та висотою сигналів ДТКМ. Необхідна для такого перетворення інформація надходить від інерційної системи ІНС, радіовисотоміра РВ та ін. Пристрій порівняння ПП перебирає можливі положення ЛА на еталонній карті і для кожного такого положення обчислює

кореляційну функцію (КФ) зображення (ПКМ) і еталонного зображення (ЕКМ). Тому метод, на якому заснована ОПС, називають кореляційними, а самі системи відносять до класу кореляційно-екстремальних. У таких системах збігу зображень відповідає екстремум (максимум і мінімум) нормованої КФ. Вирішальний пристрій ВП, зіставляючи результати порівняння з інформацією про місцезнаходження ЛА від грубої навігаційної системи ДПС (система числення шляху), визначає координати літального апарату КЛА. Функції формача поточної карти місцевості, пристрій порівняння та вирішальний пристрій зазвичай виконує ЕОМ ОПС або окремі спеціалізовані процесори.

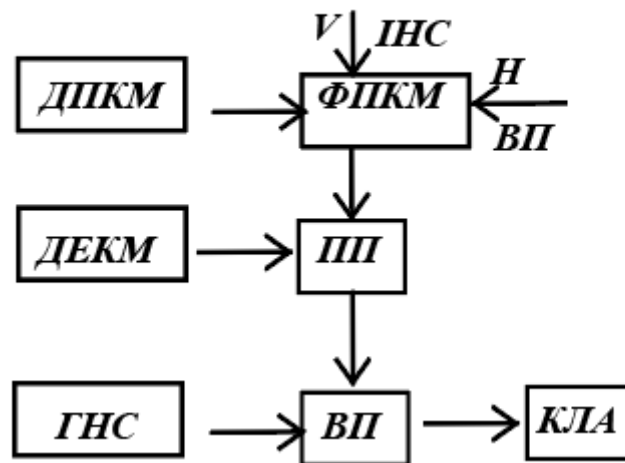


Рис. 1.12. Узагальнена структурна схема оглядово-порівняльної системи

Особливості формування еталонної карти місцевості. Точність ОПС залежить від ступеня достовірності та детальності ЕКМ, яку одержують за допомогою радіолокаторів, встановлених на ШСЗ; аерозйомки місцевості; детальних топографічних карт та інших джерел інформації. Як правило, еталонної карти місцевості є матрицею з осередків, що містять кодовану інформацію про елементарну ділянку місцевості. Мінімальний розмір осередку еталонної карти місцевості визначається роздільною здатністю бортового датчика ТКМ, а записане до неї число – динамічним діапазоном зміни вимірюваного датчиком параметра та прийнятим рівнем квантування сигналу цього датчика. Чим менші розміри осередку (що вище роздільна здатність датчика) і рівень квантування, тим більш докладною

буде еталонна карта і тим вище потенційна точність ОПС. Однак при великій протяжності маршруту, для якого складається еталонна карта, і великій деталістості останньої потрібно великий обсяг пам'яті ЕОМ ОПС. Тому при виборі параметрів еталонної карти місцевості виходять із компромісу між необхідною точністю та обсягом пам'яті системи. Одні з таких компромісних підходів у тому, що як основний навігаційний засіб використовується система числення шляху СЧШ, а ОПС служить корекції цієї системи окремих ділянок траєкторії польоту.

Залежно від виду поточної карти місцевості розрізняють два основних типи ОПС навігації: за рельєфом місцевості та картами місцевості.

### **1.5. Висновки до розділу**

Вивчаючи навігаційні системи, які використовуються у сучасних повітряних судах, можна зробити декілька ключових висновків:

#### **Широкий Спектр Методів Навігації:**

Сучасні повітряні судна оперують різними методами навігації, включаючи повітряний, радіолокаційний, доплерівський, інерційний, астрономічний, супутниковий та інші. Це забезпечує гнучкість та надійність у визначенні місцезнаходження в різних сценаріях польоту.

#### **Інтеграція Різних Підходів:**

Враховуючи різноманітні умови польоту, повітряні судна використовують комбінації різних методів навігації. Це дозволяє створити резервні варіанти та зменшити ризик непередбачуваних ситуацій.

#### **Роль Супутникових Технологій:**

З впровадженням супутникових систем, таких як GPS, навігація стала набагато точнішою та ефективнішою. Супутникові системи забезпечують постійний

доступ до сигналів, що гарантує надійні дані про місцезнаходження в режимі реального часу.

### Фокус на Безпеці та Резервуванні:

Сучасні навігаційні системи повітряних суден акцентують увагу на аспектах безпеки та надійності. Впровадження надійних та стійких систем навігації є критичним для уникнення аварій та забезпечення безпеки польотів.

### Сталі Технологічні Зміни та Адаптація:

З швидким технологічним прогресом та зміною умов польоту, постійне удосконалення навігаційних систем є необхідним. Впровадження передових технологій дозволяє забезпечити ефективність та конкурентоспроможність повітряних суден.

Узагальнюючи, сучасні навігаційні системи для повітряних суден характеризуються різноманітністю та інтеграцією методів, підвищеною точністю завдяки супутниковим технологіям, та постійною увагою до покращення безпеки та ефективності польотів.

## **РОЗДІЛ 2. ДАТЧИКИ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ ОГЛЯДОВО-ПОРІВНЯЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

### **2.1. Типи оглядово-порівняльних систем**

Оглядово-порівняльні системи навігації можуть бути класифіковані за різними критеріями залежно від сфери застосування та вимог конкретної задачі. Ось кілька типів оглядово-порівняльних систем навігації:

#### 1. За використовуваними сенсорами:

- Візуальні системи: використовують дані з камер, лідарів (лазерних радарів) та інших оптичних сенсорів для сприйняття навколишнього середовища та навігації.



- Інфрачервоні системи: використовують інфрачервоні датчики для виявлення теплових випромінювань та навігації в умовах низької видимості або нічного часу.
- Ультразвукові системи: використовують ультразвукові сенсори для вимірювання відстаней до об'єктів та запобігання зіткненням в обмежених просторах.

## 2. За рівнем автономності:

- Повністю автономні системи: здатні до повністю автономного руху та прийняття рішень на основі зібраних даних без зовнішнього втручання.
- Напівавтономні системи: Вимагають певного рівня взаємодії з оператором або зовнішніми командами для виконання конкретних завдань.

## 3. За принципом роботи:

- Системи на основі картографії: Використовують внутрішні карти навколишнього середовища для навігації та планування маршрутів.
- Системи на основі сенсорів: Засновані на даних, зібраних у реальному часі за допомогою різних сенсорів, таких як камери та Лідари, для навігації та

уникнення перешкод.

## 4. За технологічними принципами:

- Системи машинного навчання: Використовують алгоритми машинного навчання для аналізу даних та прийняття рішень на основі досвіду.
- Системи комп'ютерного зору: Розпізнають об'єкти та образи на основі аналізу зображень та відео.

Ці різні типи оглядово-порівняльних систем навігації дозволяють вибирати найбільш підходящий підхід залежно від конкретних потреб та умов застосування.

## 2.2. Аналіз систем автоматичного розпізнавання наземних об'єктів

Система візуальної навігації виступає ключовим елементом навігаційного модуля як бортів цивільної авіації так і безпілотного літального апарату (БПЛА). Для досягнення оптимальної ефективності вона потребує проведення ряду лабораторних досліджень, які не обмежуються погодними умовами та вимагають тривалої підготовки до польоту.

У зв'язку з активним використанням ЛА у зонах радіоперешкод, де може втратитися сигнал GPS, висока точність авіаційної навігації без використання радіосигналів стала надзвичайно актуальною. Система візуальної навігації може виправляти це положення, надаючи коректуру інерціальній системі навігації за допомогою візуальних підказок на землі в разі приглушення сигналу GPS. Навіть при обмеженнях, таких як погіршені погодні умови чи відсутність чітко визначених орієнтирів, візуальна навігація залишається перспективним методом розв'язання навігаційних викликів.

На жаль, на сьогоднішній день системи візуальної навігації ще не випускаються серійно. Причина цього не тільки у відсутності технічних засобів, але й у складності налаштування математичного забезпечення, що реалізовується на бортовому комп'ютері.

Щодо завдань побудови візуальної навігаційної системи, важливо розробити математичне забезпечення для обробки зображень, виявлення візуальних посилань та визначення координат. Оптимальний вибір технічних засобів, таких як камера, бортовий комп'ютер та інші, також є ключовим етапом.

Загальна блок-схема візуальної навігаційної системи включає компоненти, такі як автопілот, бортовий мікрокомп'ютер, акумулятор для автономного живлення та камера. Камера підключається до бортового комп'ютера через інтерфейс універсальної послідовної шини (USB), а вся система взаємодіє для забезпечення оптимальної візуальної навігації ЛА координати та надсилає їх назад автопілоту за допомогою зворотного зв'язку.

Зворотний зв'язок здійснюється через послідовний інтерфейс (SPI). Система візуальної навігації може працювати від основного акумулятора БПЛА або від основної системи живлення літака. Це досягається встановленням понижуючого перетворювача DC/DC. Напруга також може бути подана від власного літій-іонного акумулятора, особливо у випадках, коли БПЛА використовує двигун, наприклад двигун внутрішнього згорання. Використання оптичних пристроїв зі стабілізацією гіроскопа забезпечує збереження захопленої цілі в кадрі і дає незалежність від просторового положення ЛА під час польоту. Розглянемо на прикладі БПЛА так як ця тема актуальна на сьогоднішній день.



Рис.2.1. Камера без гіростабілізації



Рис.2.2. Камера з гіростабілізатором на літаку і на БПЛА

Бортові комп'ютери (рис. 2.3, 2.4 і 2.5):

- Чотирьох ядерний 1,2 ГГцBroadcom BCM2837 64-розрядний процесор;
- 1 ГБ оперативної пам'яті;
- VideoCore IV 3D GPU;
- бездротова локальна мережа BCM43438;
- Bluetooth 4,1;
- BluetoothLowEnergy (BLE) на борту;
- 40-контактний розширений GPIO;
- 4 порти USB 2;
- 4-полюсний стерео вихід і порт композитного відео;
- Повнорозмірний HDMI;
- порт Ethernet;
- Порт камери CSI для підключення камери RaspberryPi;
- Дисплейний порт DSI для підключення RaspberryPi сенсорний дисплей;
- Порт Micro SD для завантаження операційної системи та зберігання даних;
- Оновлене перемикається джерело живлення Micro USB до 2,5 А.



Рис.2.3. RaspberryPi 3 model B



Рис.2.4. BeagleBoneBlue

- ЦП: OctavoSystems OSD3358 1GHz ARM® Кортекс-A8;
- Вбудована оперативна пам'ять DDR3 512 МБ;
- Вбудована флеш-пам'ять eMMC об'ємом 4 ГБ 8 біт;
- 2×32-розрядні 200-МГц програмовані блоки реального часу (ПРУ);
- ARM Cortex-M3;
- Інтегроване керування живленням;
- Батарея: 2-елементна підтримка LiPo з балансуванням, 9-18 В вхід для зарядного пристрою;
- Бездротовий зв'язок: 802.11bgn, Bluetooth 4.1 і BLE;
- Керування двигуном: 8 виходів серво 6 В, 4 виходи двигуна постійного струму, 4 квадратурний шифратор ;
- Датчики: 9-осьовий IMU, барометр;
- Підключення: високошвидкісний клієнт і хост USB 2.0;
- Інтерфейс користувача: 11 програмованих користувачем світлодіодів, 2 користувача програмовані кнопки.

Інтерфейси легкого підключення для додавання додаткових датчиків як: GPS, радіо DSM2, UART, SPI, I2C, 1,8 В аналоговий, 3,3 В GPIO.

Дана матриця розміром  $N \times M$  пікселів потребує використання комп'ютерного зору для виявлення спеціальних точок на зображенні. Завдання включає в себе виявлення цих точок та створення їхніх дескрипторів, які відповідають відповідним ознакам. На основі цих дескрипторів будується модель трансформації зображення, що дозволяє отримати одне зображення з іншого.

Спеціальна точка визначається як точка предмета, яка ймовірно виявлена на іншому зображенні того самого об'єкта. Для виявлення таких точок використовується детектор, який повинен забезпечувати незмінність виявлення тих самих точок відносно трансформації зображень. Детектори виступають як ідентифікатори спеціальних точок, забезпечуючи незмінність їх розпізнавання відносно перетворень зображень.

У роботі розглянуті найбільш ефективні методи виявлення спеціальних точок, такі як SURF і SIFT. Вони відзначаються високою точністю та незмінністю при виявленні та описі особливих точок на зображеннях.

Порівняльний аналіз методів виявлення спеціальних точок показує, що обидва алгоритми мають свої переваги та недоліки. Наприклад, SIFT може мати обмежену застосовність у випадках різних умов освітлення та наявності об'єктів з яскраво вираженою тривимірною структурою. З іншого боку, SURF може не ефективно виділяти об'єкти на тлі та має обмежену дієздатність для простих об'єктів без вираженої фактури.

Цей порівняльний аналіз дозволяє вибрати метод виявлення спеціальних точок, який найбільше відповідає конкретним умовам та вимогам конкретного застосування.

Алгоритм полягає в тому щопотрібно створити цифрову репрезентацію зображення у вигляді матриці пікселів.

Перетворити цю матрицю в інтегральне представлення для оптимізації обчислень. Визначити елементи матриці Гессе, використовуючи згортку (суму добутків). Обчислити піксель Гессе при зміненому масштабі фільтра. Виявити локальний максимум Гессе. Знайти орієнтацію особливої точки. Розрахувати дескриптор спеціальної точки.

Алгоритм SIFT:

Сформувані цифрову модель зображення у вигляді піксельної матриці. Побудувати піраміду Гауса та різницю Гауссів (DOG) для виявлення спеціальних

точок. Перевірити точку екстремуму на придатність для використання в якості ключової. Знайти орієнтацію особливої точки. Побудувати дескриптор для спеціальної точки.

Алгоритм RANSAC:

Вхідні дані:

Набір вихідних даних  $X$ . Модель  $P$  для обчислення параметрів  $\theta$  над множиною  $n$  точок. Функція оцінки  $E$  відповідності точок до отриманої моделі. Порогове значення  $t$  для функції оцінювання.

Цей алгоритм складається з циклу, кожен ітерацію якого можна розділити на два етапи.

Перший етап: Вибір точок та розрахунок моделі. Випадковий вибір  $n$  різних точок з вихідного набору. Розрахунок параметрів  $\theta$ -моделі  $P$  на основі вибраних точок за допомогою функції  $M$ . Отримана модель називається гіпотезою.

Другий етап: Для кожної точки перевірка її відповідності гіпотезі за допомогою функції оцінки  $E$  та порогового значення  $t$ . Кожна точка відзначається як внутрішня або викидана.

Після перевірки всіх точок перевіряється, чи є гіпотеза кращою на даний момент, і, якщо так, вона замінює попередню найкращу гіпотезу.

Результат роботи:

Параметри або  $\theta$ -моделі  $P$ . Вихідні точки даних відзначаються як внутрішні або викидані.

Алгоритм визначення координат:

Для визначення координат значущих точок на еталонному зображенні у точці зльоту, необхідно визначити відстань пікселя зображення від центру, координати якого нам відомі, до відфільтрованих точок методом RANSAC. Піксельна відстань (зсув)  $d$  між точками  $A(x_1, y_1)$  і  $B(x_2, y_2)$  у площині визначається за формулою:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Отримана відстань дорівнює кількості пікселів яку необхідно помножити на поточну шкалу в метрах матриця камери на відомій висоті та фокусній відстані.

Тангенс кута між відрізком і в позитивний напрямок осі  $O_x$  визначається за формулою (цей кут відраховується від осі  $O_x$  проти годинникової стрілки).

$$tg\varphi = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Визначений за цією формулою тангенс є кутом нахилу прямої лінії. Додатково необхідно прикріпити до кожного кадру курс по компасу, читаний з автопілота.

Визначивши відстань до точок і кут, необхідно перерахувати широту і довготу координати, вважаючи їх пунктами призначення відносно центральної точки зображення, відстань від якої визначають наступною формулою

$$\varphi_2 = a \sin(\sin \varphi_1 \cos \delta + \cos \varphi_1 \sin \delta \cos \theta),$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + a \tan 2(\sin \theta \sin \delta \cos \varphi_1, \cos \delta - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2).$$

де  $\varphi_1$  – поточна довгота;  $\varphi_2$  — довгота цільової точки місії завантажується в пам'ять автопілота;  $\lambda_1$  – поточна широта;  $\lambda_2$  – цільова широта;  $R$  є радіус Землі (середній радіус 6,371 км);

Початковою точкою визначення є центр першого передбаченого зображення, яке розташоване в точці зльоту. Від цієї точки встановлюються орієнтири на зображенні, які асоціюються з GPS-координатами цієї самої точки. Координати точок польоту, записані автопілотом під час етапу польоту, витягуються з малюнків і зберігаються в пам'яті. При плануванні місії автономного польоту, отримані координати цільової точки і поточного положення використовуються для екстраполяції. Застосовуючи формулу гаверсінуса, розглядається відстань до цільової точки через дугу великого кола, наближену до сфери Землі, виміряну в метрах.

Далі розглянемо систему огляду місцевості на принципі лазерних технологій.



Бортова система виявлення та визначення дальності світла (LiDAR), яку іноді називають бортовим лазерним скануванням (ALS), — це метод дистанційного зондування, який використовується для вимірювання відстані до об'єкта шляхом визначення часу польоту випромінюваного лазерного променя. Механізм сканування (наприклад, коливальне дзеркало) зазвичай використовується для керування серією лазерних імпульсів (зазвичай понад 100 кГц) на великій території з бортової платформи. Усі бортові системи LiDAR використовують додаткові технології, такі як глобальна система позиціонування (GPS) та інерціальний вимірювальний блок (IMU), щоб визначити місцезнаходження та орієнтацію дистанційного датчика, розташованого на бортовій платформі (рис.2.5.). Отримані дані зазвичай використовуються для вимірювання рельєфу поверхні землі, включно з рельєфом голої землі без будівель і рослинності.

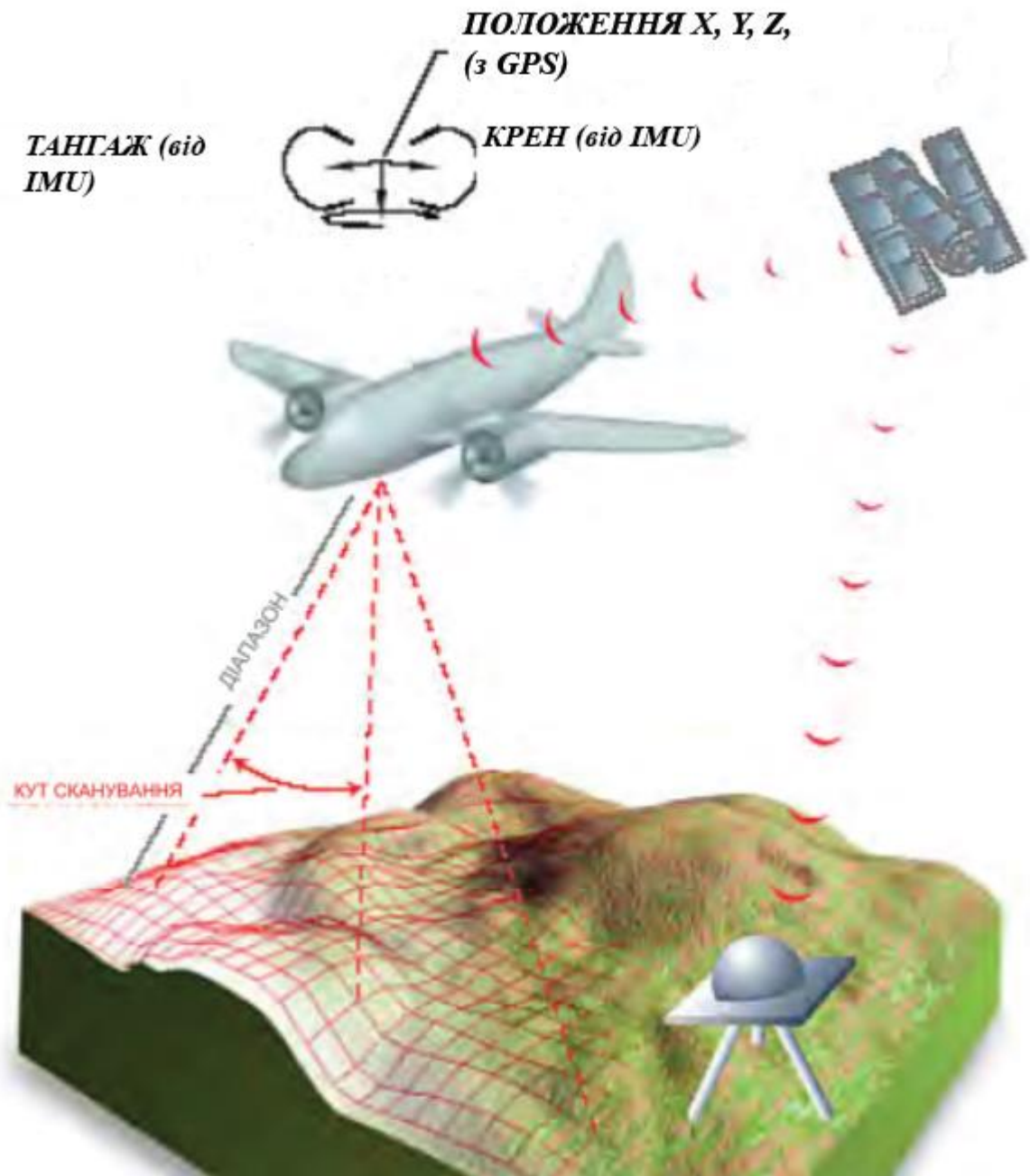


Рис.2.5. Бортова технологія LiDAR використовується для вимірювання топографії за допомогою лазерного променя, спрямованого на землю, із системами GPS та IMU, що забезпечують визначення місцезнаходження та орієнтацію бортової платформи

Принципи роботи. Незважаючи на те, що більшість комерційно доступних бортових систем LiDAR використовують імпульсне лазерне джерело, існують інші режими роботи лазерних систем дистанційного зондування. Наприклад, лазерна система може бути охарактеризована як лазерна система безперервної хвилі (CW), яка передає безперервний сигнал, а дальність визначається модулюванням

інтенсивності лазерного світла. У такій системі синусоїдальний сигнал приймається із затримкою в часі. Час проходження прямо пропорційний різниці фаз між прийнятим і переданим сигналом. З іншого боку, імпульсні лазерні системи передають серію лазерних імпульсів і вимірюють час проходження кожного лазерного імпульсу, який розсіюється назад до оптичного приймача. Відстань (або дальність) до цілі визначається часом польоту лазерного імпульсу в одну сторону, помноженим на швидкість світла.

Лазерний. Лазерний пристрій вимірювання відстані в повітряному лазерному скануванні включатиме власне лазер; передавальна і приймальна оптика; і приймач з його детектором, лічильником часу та блоком оцифровки.

Довжина хвилі лазера. Для топографічного картографування з використанням повітряного лазерного сканування, де для вимірювання відстані на великих відстанях потрібні високоенергетичні імпульси, лише певні типи твердотільних, напівпровідникових і волоконних лазерів мають особливі характеристики – здатність виробляти високоінтенсивні колімовані промені – які необхідні для виконання цих операцій.

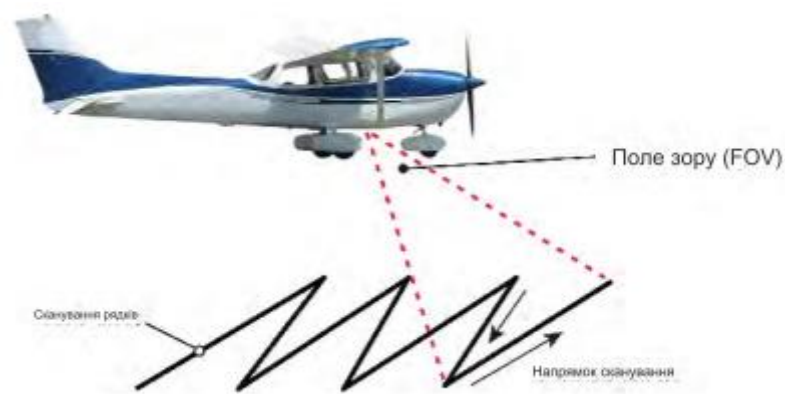


Рис.2.6. Зразок шаблону сканування, створеного коливальним дзеркалом. Кут переднього огляду сканера наведено лише для ілюстрації.

Більшість сканерів працюють поблизу сканерів, що виглядають у найнижчій точці, коли використовують коливальні дзеркала.

Майже всі бортові топографічні системи LiDAR, які використовують твердотільний кристалічний матеріал, наприклад лазери на ітрієвому гранаті

(Nd:YAG), леговані неодимом, працюють у ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль (зазвичай 1064 нм). Волоконні лазери (іноді їх називають скляними лазерами), що працюють на довжині довжини 1550 нм або близько до неї, також регулярно використовуються, хоча ці системи працюють на нижчих рівнях потужності й не можуть досягати такої ж робочої висоти, як лазерні датчики 1064 нм. Лазери також були розроблені для роботи на довжині хвилі 905 нм, але вони не дуже популярні для літальних апаратів LiDAR через їх низьку інтенсивність віддачі над насиченими опадами. Інший клас лазерів працює на подвоєній синьо-зеленій довжині хвилі 532 нм. Ці датчики зазвичай використовуються в батиметричних і топобатиметричних додатках, оскільки лазер із зеленою довжиною хвилі здатний проникати через товщу води за певних умов; дивіться розділ 7 для більш детальної інформації.

Енергія імпульсу, ширина імпульсу та розбіжність променя . Енергія імпульсу, виміряна в мікроджоулях (мкДж), є просто повною енергією лазерного імпульсу. Тривалість імпульсу, виміряна в наносекундах (нс), зазвичай визначається як час, протягом якого потужність вихідного імпульсу лазера постійно залишається вище половини максимального значення. Розбіжність променя, виміряна в мілірадіанах (мрад), відноситься до збільшення діаметра променя, яке відбувається зі збільшенням відстані між лазерним приладом і площиною, яка перетинає вісь променя. Енергія імпульсу топографічних систем LiDAR зазвичай низька (10-100 мкДж), щоб забезпечити чітко сфокусований промінь з низькою розбіжністю променя, який також безпечний для очей. Батиметричні системи LiDAR мають енергію імпульсу до 7 мДж, що зазвичай набагато вище, ніж лазери ближнього інфрачервоного діапазону, які використовуються в топографічних додатках. Більша потужність необхідна для того, щоб лазерний імпульс проникав крізь товщу води для картографування дна. Батиметричні датчики з дуже високою потужністю лазерного імпульсу також мають велику площу, тому енергія поширюється на більшу площу з міркувань безпеки очей. Ширина імпульсу визначає роздільну здатність діапазону імпульсу в системах з кількома зворотними сигналами (пояснено нижче) або мінімальну відстань між послідовними поверненнями від

імпульсу. Традиційно тривалість імпульсу для топографічних систем була в діапазоні приблизно 10 нс. Це означає, що за кожним отриманим сигналом LiDAR є «сліпа пляма» розміром приблизно 1 метр уздовж лазерного шляху. Новіша лазерна технологія дозволила використовувати набагато коротші імпульси (1-2 нс) для топографічних і топовиметричних застосувань. Для топовиметричних застосувань лазер з короткою шириною імпульсу дозволяє відокремлювати повернення від поверхні води та дна на дуже невеликих глибинах. Це обмежує ефективну глибину вимірювання до  $>0,5$  м для порогового виявлення систем *topobathyLiDAR*.

Частота повторення імпульсів (PRF). PRF, виміряний у кГц, — це кількість імпульсів, випромінюваних лазерним приладом за 1 секунду. Старі прилади видавали кілька тисяч імпульсів на секунду. Сучасні системи можуть підтримувати частоти 400 кГц, а нові технології тепер дозволяють використовувати 2 лазерні канали в поєднанні з одним скануючим дзеркалом, створюючи таким чином ефективну PRF 800 кГц. Багато систем дозволяють різні налаштування для PRF. Зазвичай це робиться для того, щоб системи могли літати на різних висотах польоту. PRF безпосередньо пов'язаний із щільністю точок на цілі. Наприклад, система, що працює на частоті 167 кГц з тієї ж висоти польоту, матиме більшу кількість повернень, ніж коли працює на частоті 100 кГц. Аналогічно, система з високим PRF може генерувати бажану щільність повернення, працюючи на літаку, який літає вище та швидше, ніж літак із системою з нижчим PRF, таким чином зменшуючи час польоту та витрати на отримання, коли погодні умови дозволяють літати на більших висотах.

Сканер. Основна мета техніки сканування полягає в тому, щоб створити широку смугу з рівномірним відстанню між точками вздовж і поперек колії, а також надійні й точні висоти для всієї смуги. Кілька методів сканування використовувалися в бортових системах LiDAR. Теоретично немає особливих причин, чому одна техніка сканування є кращою перед іншою, хоча схеми сканування, які сприяють постійному куту падіння на місцевості, можуть зменшити пропуски даних, пов'язані з динамічним діапазоном приймальної

оптики. Найпоширенішими методами сканування є осцилююче дзеркало та обертове дзеркало.

Коливальні дзеркала . У системах, що використовують осцилююче дзеркало, дзеркало обертається вперед і назад між обмеженими проміжками, утворюючи зигзагоподібну (тобто синусоїдну) лінію на поверхні цільової області (Малюнок 1-2). Дзеркало завжди спрямоване вниз до землі, тому збір даних може бути безперервним і теоретично можна використовувати всі імпульси лазера. Поле зору та швидкість сканування можуть бути встановлені оператором до отримання. Зміна поля зору забезпечує додаткову гнучкість, оскільки дозволяє збирати лазерні імпульси в меншому діапазоні (більш щільні дані) або ширшому інтервалі (менш розріджені дані). Хоча осцилююче дзеркало є найбільш широко використовуваним скануючим механізмом для бортових систем LiDAR, використання принципу осцилюючого дзеркала має невід’ємні недоліки. Змінна швидкість і прискорення дзеркала, коли воно коливається від одного кінця до іншого, спричиняє неоднаковий розподіл лазерних імпульсів на цілі.

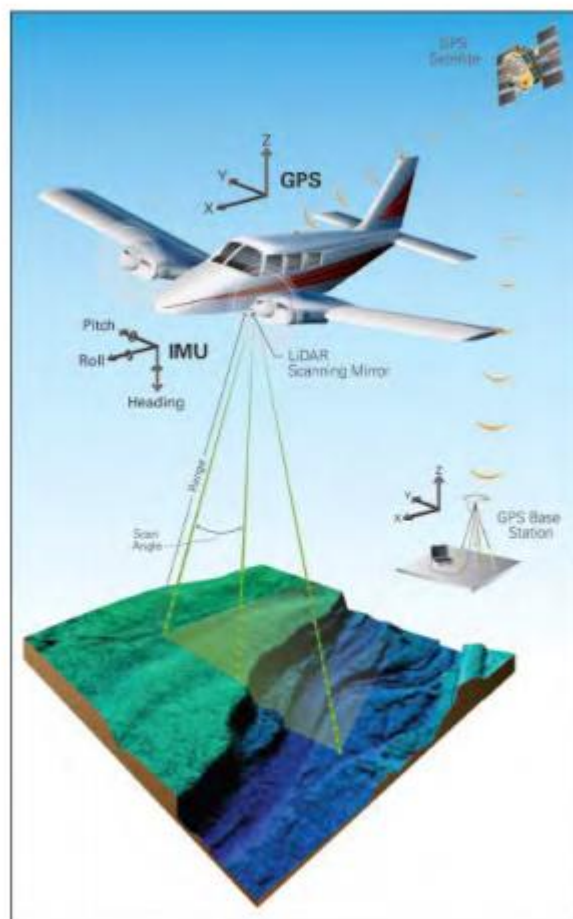


Рис.2.7. Бортовий GPS забезпечує положення антени за осями x/y/z перед зсувом «плеча важеля» до датчика; IMU забезпечує орієнтацію датчика LiDAR щодо крену, тангажу та повороту.

Геопозиціонування . Калібрування даних LiDAR починається з належного встановлення/монтажу пристрою LiDAR, антени GPS і датчика IMU на літаку, а також точного вимірювання зсувів у напрямках x, y та z між кожним із цих датчиків. IMU зазвичай служить точкою відліку, і точна відстань між усіма блоками вимірюється відносно IMU. Для обробки диференціальної траєкторії GPS-IMU потрібні точне розташування базової станції GPS, висота антени та інформація про фазовий центр. Траєкторія GPS-IMU – це точна траєкторія літака, яка містить 6 параметрів позиціонування та орієнтації: x, y, z, тангаж, крен, курс; разом із унікальною міткою часу. Інформація про місцезнаходження отримується шляхом постобробки даних GPS-приймача літака разом із даними базової станції GPS за допомогою спеціалізованого диференціального програмного забезпечення GPS (DGPS). Позиції LiDAR обчислюються з кроком 0,5 секунди. На другому етапі інтегроване рішення щодо позиції та орієнтації обчислюється за допомогою даних про позицію DGPS та даних IMU іншим програмним модулем, що забезпечує кути позиції та орієнтації (крену, нахилу, повороту) до вищих, ніж одна сота частина градуса. Частота вимірювання IMU зазвичай становить 200 Гц; значення траєкторії зазвичай підтримуються з тією ж швидкістю, що і IMU, тобто 200 записів на секунду. Після обробки даних GPS та IMU та проходження всіх перевірок КЯ дані поєднуються з даними про дальність лазера. Цей етап обробки виконується в програмному забезпеченні, розробленому виробником LiDAR. На цьому етапі обробки виконується калібрування. Незважаючи на те, що методи виконання калібрування залежать від програмного забезпечення (і, отже, залежать від виробника), постачальник LiDAR повинен тестувати калібровані дані незалежно. Зазвичай це робиться шляхом опитування даних чотирьох ліній польоту, що перекриваються, що пролітають у протилежних і перпендикулярних напрямках уздовж дахів будівель і плоских поверхонь, таких як злітно-посадкові смуги аеропорту.

Бортовий GPS контроль. Бортовий LiDAR отримується з використанням АВGPS для запису 3D (X/Y/Z) координат кожного імпульсу, а також інерціального вимірювального блоку (IMU) для запису крену, кута та повороту датчика під час передачі кожного імпульсу. і отримано (див. Малюнок 1-8). Коли відомі шість параметрів зовнішнього орієнтування кожного імпульсу (X/Y/Z і крен/тангаж/рискання), вимоги до наземного контролю, що досліджується, значно знижуються. Приймачі АВGPS повинні бути здатні відстежувати дані як грубого збору (С/А), так і псевдодальності (Р-код). Вони повинні забезпечувати подвійну частоту (L1 і L2) і багатоканальні можливості з розв'язанням неоднозначності «на льоту» та мати можливість реєструвати дані GPS з епохою 1 секунда або краще. Приймачі ГЛОНАСС, здатні отримувати супутникову інформацію від GPS і систем ГЛОНАСС, є кращими перед приймачами, які працюють лише з GPS.

Дані про дальність, отримані від датчика LiDAR, інтегруються з даними геоприв'язки (GPS) і орієнтації (IMU) літака для створення обробленого файлу лазера, що дає 3D-положення та інтенсивність для кожного повернення лазера. У наступних розділах описано загальні кроки, які використовуються для обробки даних LiDAR у деякі загальні кінцеві результати.

Ультразвукові методи навігації використовують ультразвукові хвилі для визначення місцезнаходження об'єктів у просторі та навігації через нього. Ці методи знаходять застосування в різних областях, включаючи робототехніку, автономні транспортні засоби, медичні системи та інші.

Основні принципи ультразвукової навігації включають:

Генерація Ультразвукових Хвиль:

Система генерує ультразвукові хвилі за допомогою ультразвукових датчиків або передавачів.

Відправлення та Приймання Сигналів:

Ультразвукові сигнали відправляються в простір і відбиваються від об'єктів. Датчики вимірюють час проходження сигналів.



Визначення Відстані та Напрямку:

На основі часу проліту та часу приймання сигналів визначається відстань між передавачем та об'єктом, а також напрямок відбиття.

Триангуляція та Обробка Даних:

За допомогою інформації від кількох ультразвукових датчиків проводиться триангуляція для визначення точного місцезнаходження об'єкта в просторі.

Комбінація з Іншими Системами:

Ультразвукові дані можуть комбінуватися з іншими системами навігації, такими як GPS або інерціальні системи, для отримання більш точних результатів, особливо в умовах, де інші системи можуть бути неефективними (наприклад, в замкнених просторах або в умовах обмеженого супутникового сигналу).

Ультразвукові методи навігації дозволяють отримувати інформацію про навколишнє середовище та взаємодіяти з ним в реальному часі, що робить їх корисними для різноманітних застосувань у сучасних технологіях.

Один з прикладів ультразвукового датчика - це HC-SR04, який широко використовується у проєктах авіа устаткування та інших системах. Цей датчик має два основні компоненти: передавач і приймач.

Як працює HC-SR04:

Відправлення сигналу: Датчик відправляє ультразвуковий сигнал, що є коротким звуковим імпульсом, з використанням передавача.

Відбивання сигналу: Якщо цей сигнал вдаряється об'єктом, він відбивається назад до датчика.

Приймання сигналу: Приймач датчика отримує відбитий сигнал.

Вимірювання часу: Датчик вимірює час, який затрачається на те, щоб сигнал пройшов від передавача до об'єкта і повернувся назад. Це вимірюється в мікросекундах.

Визначення відстані: Відстань до об'єкта обчислюється, використовуючи відомий час і швидкість звуку. Формула для обчислення відстані виглядає приблизно так:  $\text{Відстань} = (\text{час} * \text{швидкість звуку}) / 2$ .

Такий датчик може вимірювати відстані від декількох сантиметрів до декількох метрів. Зазвичай, використовуючи кілька таких датчиків, можна отримати інформацію про розташування об'єктів у просторі та уникати перешкод під час руху робота чи іншого пристрою.

### **2.3. Датчики первинної інформації систем розпізнавання наземних об'єктів**

Системи розпізнавання наземних об'єктів використовують різні типи датчиків для отримання первинної інформації, яка є ключовою для ефективного функціонування систем розпізнавання та навігації. Ось деякі типові датчики, які використовуються для отримання первинної інформації в системах розпізнавання наземних об'єктів:

Візуальні Камери:

Камери здатні отримувати зображення об'єктів у візуальному спектрі. Використовуються для розпізнавання форм, кольорів та інших візуальних ознак об'єктів.

Інфрачервоні (IR) Камери (FLIR Systems, SeekThermal):

Вимірюють теплове випромінювання об'єктів. Ефективні для роботи в умовах недостатнього освітлення або вночі. Використовуються для виявлення теплових слідів об'єктів.

Лідар (LightDetectionandRanging):

Використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстаней до об'єктів. Надає точну інформацію про рельєф та відстані до об'єктів, ефективний у тривимірному сприйнятті оточуючого простору.

Радар (RadioDetectionandRanging) (Honeywell RDR-4000, Garmin GWX 75):

Використовує радіохвилі для визначення відстаней та інших характеристик об'єктів. Широко використовується в авіації для виявлення та визначення руху об'єктів.

Гіроскопи та Акселерометри (MEMS гіроскопи та акселерометри від компаній, таких як InvenSense):

Вимірюють обертання та прискорення системи. Використовуються для визначення орієнтації та руху системи, що може бути корисним при розпізнаванні об'єктів.

Ефективність та конкурентоспроможність сучасних літальних апаратів (ЛА) багато в чому визначається досконалістю гіроскопічних датчиків первинної інформації, на основі яких будуються навігаційні системи та системи управління ЛА.

В даний час існує велика різноманітність різних типів гіроскопічних датчиків, правильне застосування яких забезпечує необхідні експлуатаційні якості ЛА.

Кожному типу гіроскопічних датчиків можна знайти оптимальну нішу застосування. При виборі гіроскопічного датчика враховуються такі основні характеристики: точність, надійність роботи, енергоспоживання, габаритні розміри і вартість. Залежно від вимог, що висуваються до систем управління та навігаційних систем, вибирається відповідний тип гіроскопічного датчика.

Тим не менш, з усього різноманіття датчиків можна виділити найбільш перспективні за вказаними вище характеристиками. Це лазерні гіроскопи, волоконно-оптичні, хвильові твердотільні та мікромеханічні гіроскопи.

Основною їх перевагою є підвищена надійність роботи через відсутність роторів і карданних підвісів, що швидко обертаються, мінімальне споживання електроенергії за рахунок реалізації основних функціональних вузлів на базі сервісної мікроелектроніки та можливість підвищення точності характеристик шляхом математичної обробки первинних сигналів датчиків у мікропроцесорах.

Гіроскопічні датчики є джерелами первинної інформації при побудові пілотажних та навігаційних систем літальних апаратів.

У пілотажних системах вони використовуються в основному як датчики кутових швидкостей у ланцюгах зворотного зв'язку автоматичних систем керування. У навігаційних системах - як датчики кутового положення літака або індикатора нульового положення гіростабілізованої платформи. Як датчики лінійних прискорень використовуються акселерометри.

Ці датчики часто інтегруються в комплексні системи, які використовують інтелектуальні алгоритми обробки даних та штучний інтелект для ефективного розпізнавання та навігації. Комбінування різних типів датчиків дозволяє отримувати повнішу та точнішу інформацію про оточуючий простір.

## **2.4. Висновки до розділу**

Навігація місцевості вимагає високоточних та надійних систем і датчиків для забезпечення безпеки та ефективності польоту. Ультразвукові, інфрачервоні та візуальні системи є популярними технологіями, кожна з яких має свої переваги та обмеження.

Ультразвукові Системи та Датчики:

Переваги:

Навігація у замкнених просторах: Ультразвукові системи ефективні в умовах обмеженого простору, де інші системи можуть втратити точність (наприклад, в аеропортах або в густонаселених місцях).

Висока частота понад 20 кГц: Висока частота ультразвукових хвиль дозволяє отримувати точні відстані, особливо на коротких відстанях.

Обмеження:

Обмежена Дальність: Ультразвукові хвилі мають обмежену дальність, тому вони менше ефективні на великих відстанях.

Вплив на погодні умови: Атмосферні умови, такі як дощ або туман, можуть впливати на поширення ультразвукових хвиль, що робить їх менш ефективними в поганих погодних умовах.

Інфрачервоні Системи та Датчики:

Переваги:

Добре працюють вночі: Інфрачервоні системи здатні реєструвати теплове випромінювання, що дозволяє їм ефективно функціонувати вночі або в умовах обмеженої видимості.

Велика Дальність Дії: Інфрачервоні датчики можуть працювати на великій відстані, що робить їх ефективними для навігації відкритим простором.

Обмеження:

Залежність від теплового випромінювання: Використання теплового випромінювання може бути обмеженим у теплі дні, коли різниця між температурою об'єктів та навколишнього повітря невелика.

Вплив атмосферних умов: Деякі атмосферні умови, такі як туман або дим, можуть впливати на ефективність інфрачервоних систем.

Візуальні Системи та Датчики:

Переваги:

Висока Роздільна Здатність: Візуальні системи здатні надавати високороздільні зображення, що дозволяє виявляти дрібні об'єкти та деталі.

Широкий Діапазон Застосувань: Візуальні системи ефективні в різноманітних умовах, включаючи великі відстані та різноманітні погодні умови.

Обмеження:

Залежність від Освітлення: Зображення може бути обмеженим у темний час доби або в умовах недостатнього освітлення.

Потребує Обробки Даних: Велика кількість отриманої візуальної інформації потребує обробки, що може бути витратною з точки зору обчислювальних ресурсів.

Загальні Висновки:

Кожен тип системи та датчика навігації має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від конкретних умов та завдань польоту літака. Інтеграція різних систем, таких як комбінація ультразвукових, інфрачервоних та візуальних датчиків, може забезпечити більш високу точність та надійність навігації у різних умовах.

## **РОЗДІЛ 3. ОГЛЯДОВО-ПОРІВНЯЛЬНА (КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА) НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА СУЧАСНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА**

### **3.1. Основи оглядово-порівняльного методу в кореляційно-екстремальних навігаційних системах**

Існують різні типи систем оглядово-орієнтирної навігації, серед яких варто відзначити кореляційно-екстремальну навігаційну систему, її функціонування ґрунтується на використанні кореляційних взаємозв'язків між реалізаціями випадкових функцій для визначення навігаційних параметрів наземних об'єктів, таких як координати, розміри та орієнтація. Це досягається шляхом пошуку екстремумів кореляційної функції. Зокрема, інтегральна оглядово-порівняльна комплексна система базується на встановленні на борту декількох одночасно працюючих оглядово-порівняльних систем. Ці системи отримують дані про місцевість та навколишній простір від датчиків із різними фізичними принципами обробки інформації. Інтегральні системи відображення надають екіпажу навігаційну

інформацію, синтезуючи дані з різноманітних датчиків, і забезпечують оперативні, командні, контрольні та інші дані, необхідні для ефективного виконання завдань навігації.

В оглядово-порівняльному методі навігації як формувачі еталонних орієнтирів, що спостерігаються, можуть бути використані як штучні, так і природні геофізичні поля. У обраній системі відліку положення еталонного зображення орієнтира відповідає необхідному курсовому напрямку руху.

Порівняна інформація може зніматися в точці, з лінії або з майдану відповідного поля. При цьому точкове зондування не накладає обмежень на вигляд зондованого поля, тоді як знімання інформації з лінії або площі виключає можливість використання просторових полів і базується лише на поверхневих полях (поле рельєфу, оптичного чи радіолокаційного контрасту та ін.). Останнє зумовлено тим, що літальні апарати (ЛА) мають зазвичай незрівнянно малі розміри проти так званого радіусу кореляції просторового поля.

Незалежно від принципів розробки алгоритмів та систем, що будуються на використанні оглядово-порівняльного методу навігації, всі вони мають спільність, що полягає в реалізації обчислювальної процедури, подібної до обчислення взаємної кореляційної функції та визначенням екстремуму цієї функції. У зв'язку з цим навігаційні системи цього типу отримали назву кореляційно-екстремальних навігаційних систем (КЕНС). Якщо апріорі відомо, що в процесі польоту можуть мати місце щодо невеликих відхилень параметрів руху ЛА від номінальних, при яких неузгодженість між поточним та еталонним зображеннями не перевершить радіуса кореляції їх взаємної просторової кореляційної функції, перевагу віддається безпошуковим КЕНС. Пошукові КЕНС, володіючи властивістю інваріантності стосовно до початкових помилок є більш універсальними, але в той же час і більш складними в порівнянні з безпошуковими. Теорія КЕНС як для пошукових, так і без пошукових систем розвинена в основному радянськими вченими.

Принципи функціонування пошукових КЕНС ґрунтуються на теорії статистичних рішень і зводяться до завдання множин гіпотез про справжній рух ЛА

на деякому часовому інтервалі, попередньому поточному. Кожній гіпотезі ставиться у відповідність конкретна реалізація, яка зіставляється зі спостережуваним зображенням.

Робота систем автоматичного керування в реальних умовах перебуває під впливом випадкових обурень. Тому одним із Перспективними напрямками при аналізі та синтезі сучасних систем управління вважається використання ймовірнісних методів.

Історичне коріння цього підходу закладено в теорії інформації в класичній роботі Шеннона, де запропоновано як параметр процесу використовувати відоме з термодинаміки поняття функції ентропії (ентропії сполучення). Подальший розвиток статистичних методів отримали із запровадженням другий середньої величини названої кореляційною функцією. При цьому виявляється, що кореляційна функція, як і функція ентропії, є цінним доповненням математичного апарату теорії інформації.

Поняття кореляція стає центральним у визначальних галузях науки і техніки, включаючи системи управління, оптику, акустику, навігацію, і особливо слід зазначити дослідження різних фізичних полях. Важливість та актуальність подібних досліджень не вимагають спеціальних пояснень, а кореляційний метод став цілком адекватною відповіддю на поставлену проблему.

Кореляційний аналіз має багато спільного з теорією інформації, але є й суттєві відмінності, що призводить до абсолютно іншим поняттям, ніж у теорії інформації. Специфікою для дослідження статистичних процесів є спосіб математичної обробки результатів експерименту, тобто. вимірювань або спостерігається інтервал часу, або з-поміж них існує однаково і протилежно спрямовану зміна. Параметр, що визначає цю залежність, називається коефіцієнтом кореляції.

Кореляційний аналіз дає досліднику у кореляційній функції форму подання статистично важливого середнього значення тимчасового процесу, який еквівалентний спектру потужності, але має зовсім інший вид. При цьому



кореляційний аналіз визначає функціональний зв'язок вимірюваних величин. Поняття кореляції в теорії інформації стало настільки важливим, що без нього не обходяться в жодній галузі техніки зв'язку. У XIX ст. французький фізик Фур'є вперше представив спектральне розкладання тимчасового процесу гармонійні складові на вирішення диференціального рівняння теплопровідності.

Поняття коефіцієнта кореляції, розвинене у понятті кореляційної функції, та її спектральний образ, спектр потужності далеко виходять за межі емпіричної статистики природничих наук. Зв'язок кореляційного аналізу з поняттям теоретичної електротехніки зберігається внаслідок того, що автокореляційна функція є розвитком звичного поняття середнього квадратичного значення. З іншого боку, кореляційний аналіз є також розвитком спектральної теорії, оскільки перетворення Фур'є функції взаємної кореляції дає взаємний спектр між спектральним відповідністю двох тимчасових процесів.

Кореляція представляє собою статистичний зв'язок між двома чи більше випадковими величинами або величинами, які можна вважати такими з прийнятною точністю. Зміни у одній чи декількох з цих величин призводять до систематичних змін інших величин. Математичним показником кореляції двох випадкових величин є коефіцієнт кореляції.

Коефіцієнт кореляції виступає як кількісна міра ступеня взаємозв'язку між двома величинами. Він є способом вимірювання істинності пропорційності чи оберненої пропорційності між двома величинами та відображає міру розсіювання або міру похибки їхнього взаємозв'язку.

Взаємокореляційна функція, як стандартний метод оцінки ступеня кореляції між послідовностями, використовується для вивчення зв'язку двох послідовностей. З іншого боку, автокореляційна функція вказує на повторювані ділянки сигналів або допомагає визначити несучу частоту сигналу, що ховається під шумом і коливанням інших частот.

У статистиці автокореляція випадкового процесу описує кореляцію між його значеннями в різні моменти часу. Ця функція широко використовується для аналізу часових рядів та обробки сигналів. Кореляція відбиває лише лінійну залежність величин, але з відображенням їх функціональної зв'язності.

Класифікація - процес угруповання об'єктів дослідження або спостереження відповідно до їх загальних ознак, використовуваний як засіб для встановлення зв'язків між цими поняттями чи класами об'єктів. Сам процес класифікації має творчу спрямованість. Нижче у дещо скороченому вигляді представлено цей класичний приклад.

По галузі застосування:

– для цілей навігації, наведення та радіолокації; подібні системи одержали назву кореляційно-екстремальних навігаційних систем (КЕНС);

– для керування технологічними процесами;

ці системиможна умовно назвати кореляційно-екстремальними технологічними системами (КЕТС);

– для дослідження природних ресурсів та навколишнього середовища; такі системи можна називати кореляційно-екстремальними геофізичними системами (КЕГС).

Використання КЕС у галузі навігації, наведення та радіолокації. Серед цих застосувань доцільно згадати про кореляційні вимірювачі швидкості літаків і космічних кораблів, кореляційні вимірювачі кутового положення, комплексна інерційно-кореляційна система, системи екстремального приймання сигналів та екстремальної радіонавігації, кореляційному методі радіолокації, системах стеження за об'єктами в дальньому космосі, кореляційно-екстремальному пеленгуванні протяжних та точкових джерел, методі автоматичного стикування супутників на орбіті.

У відповідних розділах роботи розглядаються системи навігації та наведення по картах геофізичних полів. Ці застосування КЕС пов'язані з точковим зондуванням полів. Показуються «кадрові» КЕС, що використовують зображення місцевості та призначені для навігації, наведення літальних апаратів та водіння річкових та морських суден поблизу берегів.

### 3.2. Особливості реалізації оглядово-порівняльного методу в КЕС

Основна мета кореляційно-екстремальної навігаційної системи (КЕС) - визначення поточних координат розташування літаків та їх похідних. Одна з перших систем такого типу була розроблена для керування рухом літака з метою утримання його на зазначеній траєкторії під час повторних польотів по тому ж маршруту.

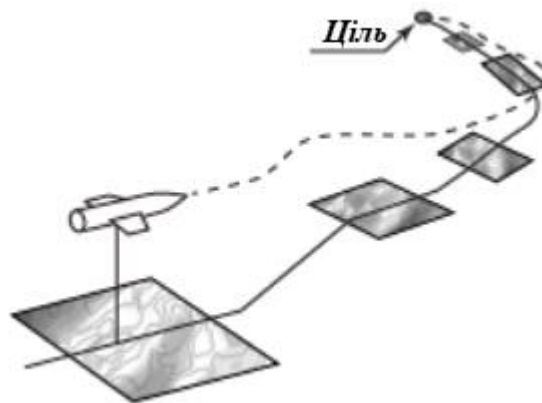


Рис.3.1. Характер траєкторії польоту при використанні інформації про рельєф місцевості в районах кореляції

Під час першого польоту фіксується зображення місцевості, що підстилає. Воно служить еталоном для наступних польотів, при яких управління літаком проводиться так, щоб етalonне та поточне зображення збігалося. У цьому полягає ідея управління руху ЛА за заданим курсом з використанням карт місцевості.

Автоматичні системи цього типу можуть реалізувати різні алгоритми роботи. Так, автоматичне управління рухом ЛА по карті заданого курсу може бути організовано безперервно на всій траєкторії руху. Іноді доцільно лише періодично коригувати цю траєкторію в окремих районах навігації. У цьому не потрібно карта

місцевості всього маршруту, лише карта місцевості у районах корекції. Кореляційно-екстремальна система може використовуватися для корекції інших навігаційних систем, зокрема інерційних, створення кореляційно-екстремальних систем для наведення ЛА класу «повітря-земля» використовуються системи з багаторазовим перезаписом «еталонного» зображення мети та району місцевості на околиці мети. У момент пуску початкова орієнтація системи на ціль (тобто вибір мети, наведення головки самонаведення на її та запис «зображення» мети в пам'ять системи) здійснюється по команді оператора, а потім після пуску ракети в міру наближення до мети її поточне зображення все більше відрізнятиметься від «еталонного» внаслідок накопичення масштабних та ракурсних змін. Тому періодично здійснюється перезапис «еталонного» зображення місцевості в районі мети.

В даний час найбільш поширеними є такі методи контролю якості виробів, як електричний, тепловий, радіаційний та оптичний. Складно відразу вибрати якийсь із методів для практичного застосування в КЕС, що розробляється. Тому виникає завдання визначення найбільш доцільного з існуючих методів контролю за якістю. Таким чином, об'єктами є методи контролю, а мета проведення аналізу полягає в обґрунтуванні вибору однієї з альтернатив.

Припустимо, що стоїть завдання вибору найбільш кращого із усіх існуючих методів контролю якості друкованих плат.

Як зазначалося, найпоширенішими є такі методи:  $y_1$  – електричний;  $y_2$  – тепловий;  $y_3$  – радіаційний;  $y_4$  – оптичний.

Для характеристики вибраних методів контролю визначимо систему приватних критеріїв:  $x_1$  – ступінь універсальності застосовуваного методу, що визначається можливістю перевірки різних якісних характеристик об'єктів різного, типорозміру;  $x_2$  – ступінь уніфікації засобів контролю;  $x_3$  – продуктивність методів під час контролю якості об'єктів;  $x_4$  – роздільна здатність;  $x_5$  – надійність способу контролю;  $x_6$  – характер контролю, т. е. спосіб зв'язку та на контрольований об'єкт.

Наступним етапом аналізу є складання експертами систем порівняння за кожним критерієм  $x$ :  $x_1 > x_2$ ,  $x_1 < x_3$ ,  $x_1 < x_4$ ,  $x_1 < x_5$ ,  $x_1 > x_6$ ,  $x_2 < x_3$ ,  $x_2 < x_4$ ,  $x_2 < x_5$ ,  $x_2 < x_6$ ,  $x_3 = x_4$ ,  $x_3 = x_5$ ,  $x_3 < x_6$ ,  $x_4 > x_5$ ,  $x_4 > x_5$ ,  $x_5 > x_6$ .

Потім будується матриця переваги, у якій знаки  $>$ ,  $=$ ,  $<$  замінюються коефіцієнтами переваги.

Таблиця 3.1.

$X_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$\sum a_{ij}$	$\rho_i^{mn}$	$\rho_{ij}^{mn}$	$\rho_i^{omn}$
$X_1$	1,0	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	5,5	0,153	29,75	0,146
$X_2$	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	3,5	0,097	19,75	0,197
$X_3$	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	6,5	0,180	37,75	0,185
$X_4$	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	8,0	0,222	46,75	0,229
$X_5$	1,5	1,5	1,0	0,5	1,0	1,5	7,0	0,194	39,25	0,192
$X_6$	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,0	5,5	0,153	30,25	0,151

У цій таблиці передбачається послідовне визначення абсолютних та відносних значень окремих параметрів, а потім – абсолютних та відносних пріоритетів параметрів. Причому  $b_i$  розраховуються як і суми  $a_{ij}$  значень, поданих у таблиці, тобто  $b_1 = 5,5$ ;  $b_2 = 3,5$ ;  $b_3 = 6,5$ ;  $b_4 = 8,0$ ;  $b_5 = 7,0$ ;  $b_6 = 5,5$ .

Потім слідує етап, в якому експерти складають системи порівняння варіантів за кожним критерієм  $x$  і визначають рівень їх значимості. Для цього також застосовується метод розміщення пріоритетів з тією різницею, що об'єктами зіставлення тепер не є приватні критерії  $x$ , а варіанти рішень  $y$ . Завдання вирішується за наведеною вище схемою: складається система порівнянь та на її основі синтезується квадратна матриця переваги за кожним варіантом.

Отримані результати вказують на те, що електричний метод ( $y_1$ ) має вищий загальний пріоритет ( $b_4 = 8,0$ ) порівняно з іншими методами. Це робить його найбільш доцільним вибором для використання в КЕС.

**3.3. Бортовий комплекс високоточної навігації з кореляційно-екстремальною оглядовою навігаційною системою з цифровою картою місцевості рельєфу місцевості**

Автономним інерційним системам управління, які складають навігаційне обладнання повітряного судна (ПС), притаманні наростаючі помилки у часі. Ці помилки виникають через неточне визначення початкових умов, таких як координати точки старту, неточна орієнтація безплатформної (платформної) інерціальної системи та похибки вимірювачів (гіроскопів, акселерометрів), а також через недосконалість застосованого алгоритму навігаційних обчислень. Під час автономного польоту похибки інерціальної системи та точність визначення координат наростають, і для забезпечення точності траєкторії польоту необхідні періодичні корекції.

Сучасні технології дозволяють виконувати ці корекції на основі результатів порівняння вимірних параметрів фізичних полів Землі, їх реалізацій, які відомі та враховані в обчислювальних системах. З однієї сторони, використання поля рельєфу місцевості є стабільним методом корекції координат. Його ефективність базується на непряму вимірюванні висоти рельєфу місцевості на борту літака та порівнянні цих даних з еталонною інформацією про поле ВРМ (висот рельєфу місцевості). Пояснення принципів проведення корекції інерційної системи та траєкторії польоту об'єкта можна проілюструвати за допомогою використання поля висот рельєфу місцевості (ВРМ). Навігація за полем ВРМ ґрунтується на вимірюванні різниці між абсолютною та геометричною висотою польоту в поточній точці траєкторії та порівнянні цього виміру з еталонною інформацією про поле ВРМ. Очікуваний результат корекції визначається шляхом обчислення цільового функціоналу, відображаючи кореляційну залежність між вимірними та еталонними сигналами.

Однією з основних класифікаційних ознак КЕНС є тип алгоритму обробки робочої інформації під час порівняння вимірних та еталонних сигналів. Відповідно до сучасної класифікації алгоритмів обробки інформації КЕНС підподіляються на евристичні, безпошукові, пошукові, комбіновані та байєсівські.

Безпошукові КЕНС спираються на застосування фільтра Калмана в задачі оцінювання помилок численних координат за умови лінеаризації поля ВРМ на

околиці зчисленного розташування та спостереження різниці між вимірним і картографічним значеннями висот рельєфу, і є подальшим теоретичним розвитком евристичних алгоритмів А.А. Красовського.

Безпошуковим КЕНС притаманні обмеження на допустимі початкові помилки ІНС, але вони характеризуються найменшими вимогами обчислювальних ресурсів БЦВМ при реалізації та особливо ефективні в задачах багатопараметричного оцінювання.

Пошукові алгоритми передбачають завдання безлічі дискретних гіпотез про можливі навігаційних помилок; виконанні послідовного ряду вимірювань і визначня тієї гіпотези, яка доставляє мінімум цільовому функціоналу КЕНС, характеризує ступінь близькості виміряного профілю рельєфу місцевості та еталонних профілів, розлічених у БЦВМ по карті відповідно до прийнятими гіпотезами. Зокрема, при зміни квадратичного функціоналу та пошуку координатних помилок алгоритм обробки робочої інформації реалізується через ітераційний розрахунок (у процесі виконання вимірювання ній рельєфу місцевості) функціоналу виду

$$I_s(m, n) = \sum_{j=1}^S (H^K(\hat{x}(t_j) + m\Delta, \hat{z}(t_j) + n\Delta) - \tilde{H}(t_j)), -N < m < N, -N < n < N$$

де  $(\hat{x}(t_j), \hat{z}(t_j))$  – численні координати в момент часу  $t_j$ ,  $(m, n)$  – індекс гіпотези,  $\Delta$  – лінійна відстань між гіпотезами,  $\tilde{H}(t_j)$  – вимір,  $H^K(*,*)$  – еталонна карта ВРМ, з застосуванням процедури пошуку його мінімуму:

$$(m^*n^*) = \operatorname{argmin}(I_s(m, n))$$

Основний недолік пошукових КЕНС - періодичність рішення, після накопичення  $S$  вимірів.

Комбіновані КЕНС реалізують субоптимальні алгоритми, що володіють достоїнствами безпошукових та пошукових КЕНС та вільні від своїх основних недоліків. Теорія комбінованих КЕНС розроблено І.М. Белоглазовим.

Байєсовські алгоритми дають оптимальне вирішення задачі корекції з вимірювань ВРМ як нелінійного завдання фільтрації, проте необхідні для їх

реалізації обчислювальні ресурси і при сьогоdnішньому рівні розвитку техніки залишаються не завжди реалізованими. У той же час слід вказати серед переваг байєсовських алгоритмів відсутність обмежень на область збіжності та неперервність процесу корекції.

Загальна структурна схема контуру інтеграції ІНС і КЕНС, що пояснює взаємодії систем та вимірювачів, показана на рис.3.1.

Інтегрована система крім ІНС, що видає поточні координати і має блок пам'яті карти поля, обчислювальний пристрій та вимірники поля ВРМ. Обчислювач реалізує той чи інший алгоритм обробки робочої інформації КЕНС. Після того, як рішення КЕНС отримано, формуються оцінки та відповідні сигнали корекції, які поступають в ІНС. Ланцюг введення сигналів корекції на рис. 3.2, показана у вигляді лінії зворотного зв'язку.

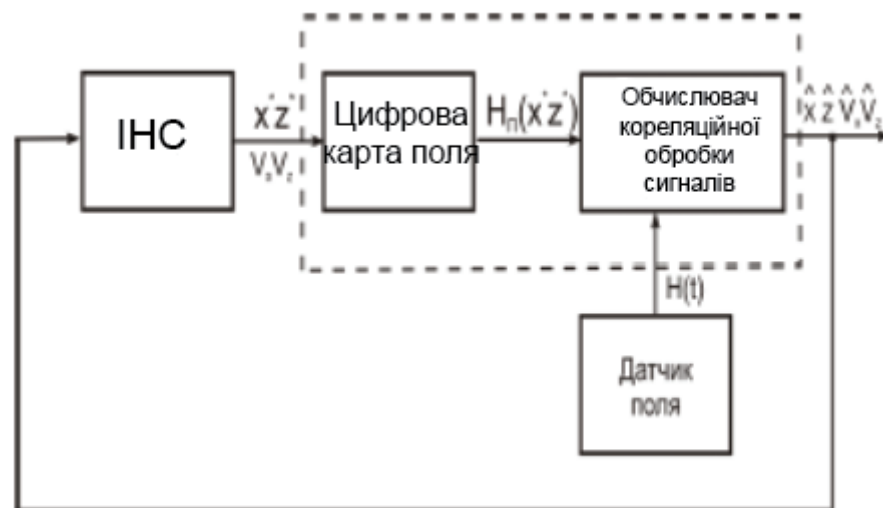


Рис.3.2. Структурна схема інтеграції інерціальної навігаційної системи та кореляційно –екстремальної системи навігації по полю рельєфу місцевості

Особливістю побудови пропонованого бортового комплексу високоточної навігації є максимально повне використання цифрової карти місцевості на користь

КЕНС, маловисотного польоту, запобігання зіткнень із земною поверхнею та інших задач. З цією метою до складу бортового комплексу вводиться Цифрова система опису земної поверхні (ЦМЗ), яка виконує наступну безліч функцій (рис. 3.3):



- організує доступ до цифрових даних про висоти рельєфу місцевості та висотних перешкодах на маршруті польоту;
- визначає істинну (геометричну) висоту польоту ПС;
- формує вихідні параметри ПС, на підставі яких забезпечується високоточна навігація.

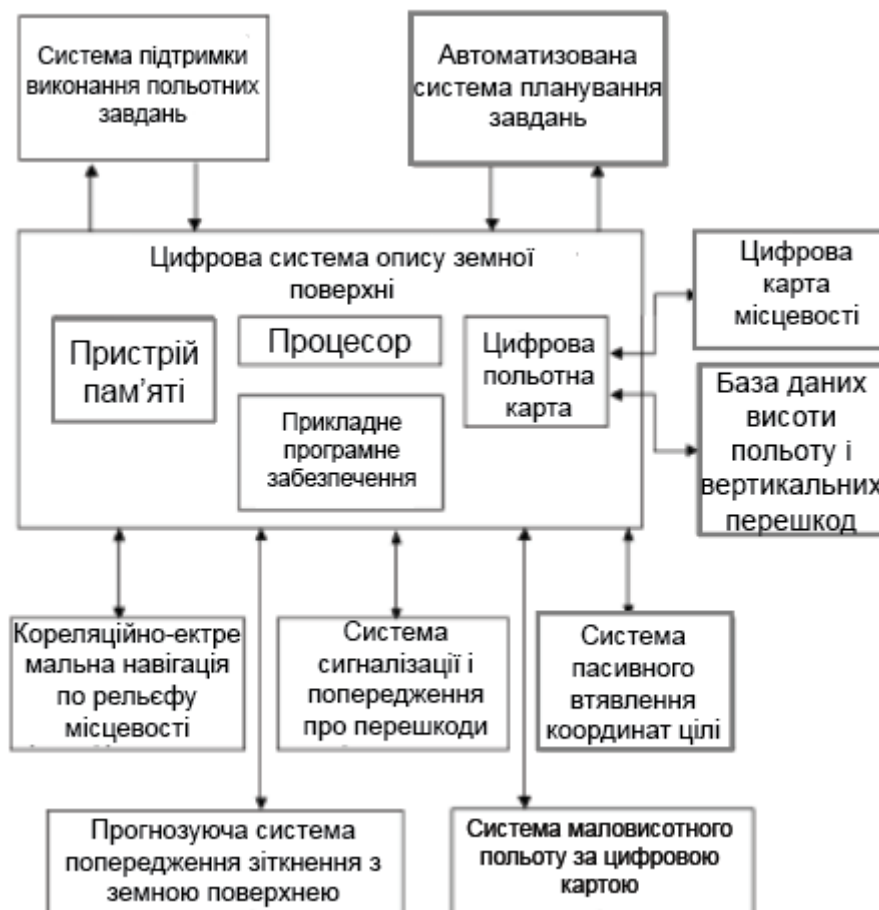


Рис.3.3. Структурна схема бортового комплексу з КЕНС та цифровою картою місцевості на маршруті польоту

До складу цифрової системи опису земної поверхні включається: зовнішній запам'ятовуючий пристрій, цифрова польотна карта уніфікованого формату, обчислювальний модуль та прикладне програмне забезпечення.

Знімне зовнішній запам'ятовуючий пристрій (ЗЗП) призначений для зберігання картографічних даних великого обсягу цифрової польотна карта містить інформацію поля ВРМ для району, площа якого забезпечує політ на максимальний радіус ПС. Крім значень ВРМ у ній зберігаються дані про вертикальні перешкоди на маршруті польоту: висотні вежі, лінії електропередачі,

будівлі, лісові масиви, висота яких перевищує задане граничне значення над земною поверхнею. Ці дані регулярно оновлюються сертифікованим органом картографування.

Формат цифрової карти місцевості належить уніфікованим на рівні протоколу даних і забезпечується системами підготовки польотних даних

Процесор (обчислювальний модуль) завантажує прикладне програмне забезпечення та отримує доступ до цифрової польотної картки, щоб «побудувати» місцеву модель ландшафту в околиці поточних координат місцеположення літака. Тим самим забезпечується інформаційна підтримка вирішення всіх зазначених завдань: КЕНС, МВП, та ін.

Прикладне програмне забезпечення використовує побудовану модель ландшафту для вирішення різних функціональних завдань ЦМЗ та формування інформаційних сигналів про параметри польоту, сигналів попередження про небезпеку та мовні повідомлення.

Інформаційні сигнали виводяться на індикатор лобового скла (ІЛС), мовний інформатор (МІ), багатофункціональний індикатор (БФІ) та індикатор введення даних (ІВС), рис. 3.4.



Рис.3.4. Структурна схема прикладного про-

грамне забезпечення індикації режимів польоту  
повітряного судна, попередження про небезпечні сі-  
туаціях та введення даних

ЦМЗ забезпечує виконання п'яти основних функціональних завдань:

- кореляційно - екстремальна навігація за рельєфом місцевості;
- попередження зіткнення із земною поверхнею, системою що прогнозує;
- сигналізація та попередження про висотних перешкод на маршруті польоту ПС;
- маловисотний політ з обгинанням рельєфа місцевості за висотою (за цифровою картою);
- пасивне визначення координат мети.

Принцип роботи КЕНС розглянуто раніше.

Слід зазначити, що це система визначає точні координати місцезнаходження

ПС щодо еталонної бази даних поля ВРМ, після чого коригуються координати, що визначаються інерційною навігаційною системою. При цьому реалізація даних (спостережень) по висоті радіовисотоміракорелюється інформацією з бортовою базою даних (цифрової карти місцевості).

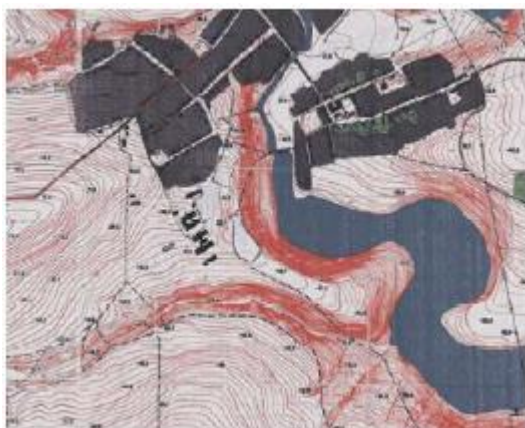
Попередньо при невизначеності горизонтального та вертикального положення ПС в автоматичному режимі проводиться оцінка точності горизонтальних координат місцеположення ( X, Y ) та його вертикального положення Z. Аналізується достовірність отриманих оцінок і визначається показник достовірності: «ВИСОКИЙ», «СЕРЕДНІЙ» та "НИЗЬКИЙ" (табл.).

Для забезпечення аналізу достовірності КЕНС має два режими роботи: режим слідкування та режим накопичення інформації. У режимі стеження КЕНС контролює місцезнаходження ПС за картографічною інформацією з бази даних. Цей режим – це реалізація безпошукового алгоритму КЕНС в інтерпретації А.А. Красовського та по суті – безперервна калманівська корекція по рельєфу місцевості при малих початкових координатних помилках навігаційного комплексу (НК) та інформативному рельєфі. КЕНС переходить у режим

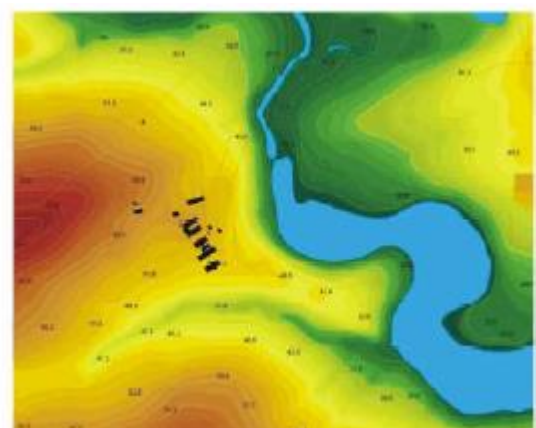
накопичення інформації у тому випадку, коли горизонтальна та/або вертикальна невизначеності перевищують допустимі значення 200 м і 12 м, при польоті над малоінформативним рельєфом, а також при перезапуску ІНС. КЕНС стає недоступною для виконання корекції координат ПС при відмові ЦМЗ, перевищенні обмежень на параметри кутової орієнтації ПС у польоті та при знаходженні ПС за межами параметрів рельєфу цифрової карти або координат поза базою даних.

Режим накопичення інформації - це аналог пошукового алгоритму КЕНС в інтерпретції А.А. Красовського. Відбувається накопичення інформації для аналізу профілю польоту. Алгоритм ефективно працює при великих початкових помилках ПК за координатами, але при цьому потрібен час на накопичення обсягу інформації для прийняття рішення для проведення корекції координат.

Якщо в результаті корекції пошукового алгоритму КЕНС точність ПК досягає рівня ВИСОКИЙ, КЕНС повертається в режим стеження. У разі невиконання цієї умови з'являється повідомлення на ІЛС про необхідності виконання ручної корекції координат ПС для зміни траєкторії польоту відносно бази даних та відновлення режиму стеження. Якщо КЕНС не виходить у режим стеження, пілоту доцільно (за можливості) деякий час пілотувати ПС над сильно перетнутим ландшафтом. КЕНС повертається в режим стеження при фіксації високою достовірністю точності визначення координат.



а)



б)

Рис.3.5.Фрагмент оригінальної топографічної карти місцевості (а) і побудована на її основі опорна тривимірна карта рельєфу місцевості

б) із спроектованими на ньому ландшафтними об'єктами (будівлями). Малюнки подані у зменшеному розмірі.

Особливі ситуації польоту ПС індикуються на ІЛС відповідними повідомленнями. При небезпечному зближенні із земною поверхнею з'являється повідомлення «БЛИЗКІСТЬ ЗЕМЛІ», а також мовленнєве повідомлення «ТЯГНИ ВВЕРХ», яке вказує льотчику про необхідності переміщення ручки управління на себе і збільшення висоти польоту, тобто зміни траєкторії польоту.

Вихід ПС за координатами за межу, записаної на ВЗП цифрової карти, супроводжується повідомленням «ПОЗА КАРТАЮ», яке автоматично знімається при поверненні ПС у закартографовану область. Попередження очікуючі повідомлення з'являються також у наступних випадках:

- при відмові окремих систем ПК;
- у разі збоїв у роботі алгоритму МВП;
- при появі вертикальних перешкод на маршруті польоту попереду, зліва або

праворуч ПС, у разі їх множини отримання пілотом попередження тільки про високі перешкоди;

- при відмові радіовисотоміра, а також у час маневрування ПС на великих кутах крену та тангажу, внаслідок суттєвих помилок виміру істинної (геометричної) висоти польоту;

- попереджувальне повідомлення БЛИЗОСТІ ЗЕМЛІ за кілька секунд до прогнозованої події, що передбачає можливість прольоту ПС на висоті нижче заданої.

Інформаційні та попереджувальні зорові символи можуть мати різну форму: цифрова, шкала з оцифровкою та стрілками, кружечок, дрібний хрестик, прямокутник, мерехтливий хрест, трикутник, напис і т.д.

Інтегрований бортовий комплекс що включає КЕНС та цифрову карту місцевості на маршруті польоту, дозволяє реалізувати високоточний маловисотний політ при автоматичному управлінні ПС з огинанням рельєфа місцевості по висоті.

Таблиця 3.2.

№ п/п	Невизначеність горизонтального положення	Показник достовірності оцінки горизонтального положення	Невизначеність вертикального положення	Показник Вірності оцінки вертикального положення
1	0...120 м	ВИСОКИЙ	0...6 м	ВИСОКИЙ
2	120...200 м	СЕРЕДНІЙ	6...12 м	СЕРЕДНІЙ
3	Більше 200 м	НИЗЬКИЙ	Більше 12 м	НИЗЬКИЙ

### 3.4. Висновки до розділу

Новизна бортового комплексу високоточної навігації полягає у вдосконаленні технології завдяки впровадженню кореляційно-екстремальної оглядово-навігаційної системи разом із цифровою картою місцевості рельєфу місцевості. Цей комплекс пропонує унікальний підхід до розв'язання завдань навігації на борту повітряних суден. Основні особливості та переваги цієї новаторської системи включають:

Кореляційно-екстремальна оглядово-навігаційна система: використання цієї системи дозволяє визначати місцезнаходження повітряного судна шляхом порівняння місцевості, зображеної на цифровій карті, з фактичним виглядом, спостережуваним за допомогою бортових оглядових пристроїв. Це забезпечує високу точність та вірогідність вимірів.

Цифрова карта місцевості рельєфу: інтеграція цифрової карти рельєфу місцевості дозволяє враховувати деталізовану і актуальну інформацію про місцевість. Це поліпшує точність та ефективність навігації, забезпечуючи навігаційні дані для оптимального вибору маршруту та уникнення перешкод.

Високоточність та стійкість: система гарантує високу вірогідність та точність вимірювань, навіть в умовах обмеженої видимості чи в регіонах зі

складним рельєфом. Це робить комплекс ефективним і високопродуктивним в різних умовах експлуатації.

Автоматизована обробка інформації: система використовує передові алгоритми обробки інформації, що дозволяє автоматизовано коригувати параметри навігації, забезпечуючи мінімізацію помилок і оптимальне використання ресурсів.

Готовність до майбутніх викликів: враховуючи швидкі темпи розвитку технологій, цей комплекс розроблений з урахуванням можливості майбутніх оновлень та доповнень, що забезпечує йому довгострокову актуальність.

Усі ці фактори роблять бортовий комплекс високоточної навігації з кореляційно-екстремальною оглядово-навігаційною системою та цифровою картою місцевості рельєфу місцевості справжньою інновацією в галузі повітряної навігації.

## **ВИСНОВКИ**

Одним із найстаріших методів навігації, а саме оглядово-порівняльний метод, набуває особливого значення в контексті сучасних літальних апаратів. Сучасні системи оглядово-порівняльної навігації забезпечують повне відтворення всієї сукупності навігаційних даних, взаємодіють з бортовими цифровими обчислювальними машинами, коректують інші датчики навігаційної інформації і виступають ключовим елементом системи «літальний апарат – екіпаж».

Незважаючи на різноманітні технічні реалізації, суть оглядово-порівняльних методів навігації полягає в визначенні місцезнаходження повітряного судна порівнянням місцевості на карті або у пам'яті обчислювальної машини з її фактичним виглядом, який спостерігається за допомогою бортових оглядових пристроїв (таких як телевізійні візери, радіолокаційні системи тощо) або візуально. Коли зображення на карті і спостережене вигляд збігаються, місцезнаходження вважається визначеним, і його координати встановлені.

Переваги оглядово-порівняльних методів навігації включають високу вірогідність та точність вимірювань, відсутність накопичувальних похибок, можливість вимірювань у будь-яких районах Землі та навколоземного простору, високий рівень інформаційної надмірності та можливість використання як неавтоматизованих (візуальне орієнтування), так і автоматизованих засобів вимірювання.

Однак варто враховувати недоліки та обмеження впровадження оглядово-порівняльних методів. Виміри можливі лише при видимості поверхні Землі чи орієнтирів, і вплив перешкод, таких як хмарність, тумани чи недостатнє освітлення, може суттєво знизити ефективність цього методу навігації. Крім того, при польотах над місцевістю без орієнтирів, такою як моря чи пустелі, необхідні яскраво виражені штучні орієнтири з відомим місцеположенням.

Навігаційний зміст оглядово-порівняльних методів вимірювань визначається виглядом орієнтирів і їх кількістю. У системах з одним орієнтиром порівнюють фізичні параметри еталонного орієнтира з вимірюваними параметрами реального об'єкта. В багато-орієнтирних системах використовують кілька орієнтирів, зберігаючи відомості про їхні координати та взаємне положення. Це дозволяє отримувати більший обсяг навігаційної інформації та зменшити залежність від втрати частини інформації чи впливу перешкод, але вимагає наявності потужної електронної обчислювальної техніки.

Залежно від фізичної природи сприйнятих сигналів, датчики оглядово-порівняльних систем навігації розподіляються на оптичні (такі як інфрачервоні або тепловізійні, телевізійні або яскравісні, лазерні), радіаційні та радіотехнічні.

Оптичні датчики, зокрема телевізійні (яскравісні), визначають ознаки на основі різниці яскравостей між об'єктом та оточуючим середовищем. Вони є пасивного типу і мають технічні труднощі, велику чутливість до перешкод і обмежену видимість орієнтирів при несприятливих умовах освітлення.



Інфрачервоні або тепловізійні датчики виділяють ознаки на основі теплового контрасту між об'єктом та фоном. Однак вони мають високу інерційність і обмеженість за дальністю дії, що робить їх менш ефективними в тумані чи дощі.

Радіаційні датчики, через їхню складну конструкцію та реалізацію, не розглядаються як датчики оглядово-порівняльних систем.

Радіолокаційні датчики використовують обробку електромагнітних сигналів, відбитих від об'єктів, для визначення ознак. Вони можуть бути активного або напівактивного типу і використовують радіохвилі в діапазоні довжин хвиль 1-3 см, де атмосфера Землі є прозорою.

Лазерні датчики дозволяють створювати лазерні локаційні системи, які виділяють ознаки на основі побудови двовимірних (2D) та тривимірних (3D) зображень об'єктів. Вони можуть бути активного або напівактивного типу, використовуючи лазерні промені для збору інформації.

Висновки з наданої інформації свідчать про значущий прогрес у розробці та застосуванні систем розпізнавання наземних об'єктів на літаках. Ці технології вирішують складні завдання навігації та розвідки, забезпечуючи високий рівень автономії та точності. Давайте сформулюємо деякі основні висновки:

#### 1. Інтеграція різних сенсорів:

- Застосування різноманітних сенсорів, таких як радари, камери, лазерні лідари та інші, дозволяє створювати комплексні системи, які забезпечують високу точність та широкий спектр можливостей.

#### 2. Точне картування об'єктів:

- Використання лазерних лідарів для точного картування земельної поверхні дозволяє створювати тривимірні моделі, що полегшують навігацію та розвідку в реальному часі.

#### 3. Системи комп'ютерного зріння та машинного навчання:

- Впровадження систем комп'ютерного зріння та машинного навчання сприяє розпізнаванню об'єктів на основі великої кількості даних, забезпечуючи високу ефективність та автономію в різних умовах.

#### 4. Посилення систем безпеки:

- Застосування інфрачервоних систем та радарів значно поліпшує можливості виявлення тепловипромінюючих та інших об'єктів, що сприяє підвищенню безпеки та ризикового аналізу.

#### 5. Застосування в авіації та обороні:

- Однією з ключових галузей застосування є авіація, де такі системи використовуються для розвідки, навігації та підтримки стратегічних рішень. Це також може включати в себе застосування військових літаків для забезпечення переваг в бойових умовах.

#### 6. Ефективне управління місіями:

- Висока точність та швидкість реакції систем розпізнавання наземних об'єктів дозволяє ефективне управління місіями, такими як пошук та рятування, моніторинг екологічних умов, та інші.

Узагальнюючи, системи розпізнавання наземних об'єктів на літаках є ключовим елементом сучасних навігаційних систем, що допомагає покращувати ефективність, безпеку та точність в різних областях від громадської авіації до оборонних додатків.

У роботі була запропонована кореляційно-екстремальна оглядово порівняльна система навігації. Новизна бортового комплексу високоточної навігації полягає у вдосконаленні технології завдяки впровадженню кореляційно-екстремальної оглядово-навігаційної системи разом із цифровою картою місцевості рельєфу місцевості. Цей комплекс пропонує унікальний підхід до розв'язання завдань навігації на борту повітряних суден. Основні особливості та переваги цієї новаторської системи включають:

Кореляційно-екстремальна оглядово-навігаційна система: використання цієї системи дозволяє визначати місцезнаходження повітряного судна шляхом порівняння місцевості, зображеної на цифровій карті, з фактичним виглядом, спостережуваним за допомогою бортових оглядових пристроїв. Це забезпечує високу точність та вірогідність вимірів.

Цифрова карта місцевості рельєфу: інтеграція цифрової карти рельєфу місцевості дозволяє враховувати деталізовану і актуальну інформацію про місцевість. Це поліпшує точність та ефективність навігації, забезпечуючи навігаційні дані для оптимального вибору маршруту та уникнення перешкод.

Високоточність та стійкість: система гарантує високу вірогідність та точність вимірювань, навіть в умовах обмеженої видимості чи в регіонах зі складним рельєфом. Це робить комплекс ефективним і високопродуктивним в різних умовах експлуатації.

Автоматизована обробка інформації: система використовує передові алгоритми обробки інформації, що дозволяє автоматизовано коригувати параметри навігації, забезпечуючи мінімізацію помилок і оптимальне використання ресурсів.

Готовність до майбутніх викликів: враховуючи швидкі темпи розвитку технологій, цей комплекс розроблений з урахуванням можливості майбутніх оновлень та доповнень, що забезпечує йому довгострокову актуальність.

Усі ці фактори роблять бортовий комплекс високоточної навігації з кореляційно-екстремальною оглядово-навігаційною системою та цифровою картою місцевості рельєфу місцевості справжньою інновацією в галузі повітряної навігації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. N. Yeromina, A. Sotnikov, V. Tarshyn. Formofthevirtualfunctionsofthecorrelation-extremalsystemsofnavigationforthecriterionoftheoutragedcorrelationofthecorrelationofthecorrelationofthecorrelation, Newsof NTU “KhPI”, Ukraine, Kharkiv, 2016, №50(1222), pp. 68 – 73

2. A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3. № 9 (87). pp. 68–74.
3. A.M. Sotnikov. Model of streamlined images that are formed by channels of a combined correlation-extremal system of a navigable pilotless vehicle, *Advanced information technology in the field of security and defense*, Ukraine, Kyiv, 2018, pp. 29-38.
4. A.M. Sotnikov. Preparation of reference images for high-speed correlation-extremal navigation systems based on the use of direct correlation analysis, *Science and Technology of the Reinforced Forces of the Ukrainian Forces of Ukraine*, Ukraine, Kharkiv, 2015, pp. 69 – 73.
5. O. Vorobiov, A. Sotnikov, A. Tantsiura. Model of current images that are formed by the combined correlation-extremal navigation system of a non-flammable aircraft. *Modern information technologies in the sphere of security and defence*. Ukraine, Kyiv, — 2018. Vol.2, No.32. — pp. 29—36.
6. N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko, V. Larin. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2018. Vol.4, No.9 (94). — pp. 27—35. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139723
7. E. Kulikov, A. Triphonov. Estimation of signal parameters against a background of interference. *Soviet radio*, Moscow, USSR, 1978, 296 p.
8. A. Tantsiura, A. Bondarchuk, O. Ilin, Yu. Melnyk, O. Tkachenko, K. Storzhak. The image model of combined correlation-extremal navigation system of flying robots. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 8(4), July-August 2019, pp. 1012 – 1019 DOI: 10.30534/ijatcse/2019/05842019
9. *Flight International*, 1989, 22IV, v. 135, № 4166, p.
10. *Microprocessing and Microprogramming*, 1989, VIII, v. 27, № 1-5, p. 143-146.

11. Aviation Week and Space Technology, 23/XI, 1987, № 21, v. 127, c 24 - 29.
12. Richmond R.D., Cain S.C. Direct-Detection LADAR Systems, SPII, Washington. 2010.
13. Chirva, L.A. Actual of question of increase ecological safety in air-ports / L.A. Chirva, A.Ye. Gay // IV all ukrainian convention of environmentalists with international participation (Ecology-2013). Collection of the scientific articles. Publishing house "Dilo", 65-67.
14. Ehhat D.H., Rother F., Wather A. Sources and distribution of Nox in the upper troposphere at northern mid-latitudes // J. Geophys. Res. – 2008. – Vol. 97. – P.3725.
15. Programs of creation and development perspective engines. Development ecologically of clean engines in Germany's / An express information: «Aviation building of engines». – 2010. - №5. – p. 1 – 2.
16. Makdonal'd A. J., Bennet R.R., Khinshou J. K., Barns M.U. Rockets with engines on a chemical fuel: influence on the environment // The Aerospace technique. – 2007. – P. 96.
17. Franchuk G.M. The Ecological estimation of influence aviation transport processes on quality components of environment / G.M. Franchuk, A.M. Antonov, S.M. Madzhd, Ya.V. Zagoruy // Announcer NAU. – 2006. – № 1. – P. 184–190.
18. [https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange\\_TechnologyStandards.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange_TechnologyStandards.aspx)
19. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>

