

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КІБЕРБЕЗПЕКИ, КОМП'ЮТЕРНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ (ЗФН)
Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

Аліна САВЧЕНКО

«___» _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ДИПЛОМНА РОБОТА, ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ

«ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Ситуаційний центр по конфліктним зонам повітряного простору»

Виконавець: студент групи УС-201Мз Мостіцький Сергій Петрович

Керівник: к.т.н., доцент Колісник Олена Василівна

Нормоконтролер: _____ Ігор РАЙЧЕВ

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Кибербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії (ЗФН)

Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

Галузь знань, спеціальність, освітньо-професійна програма: 12 «Інформаційні технології», 122 «Комп'ютерні науки», «Інформаційні управляючі системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Аліна САВЧЕНКО

« _____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи студента

Мостіцького Сергія Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родинному відмінку)

1. Тема роботи: «Ситуаційний центр по конфліктним зонам повітряного простору» затверджена наказом ректора від 28.09.2022 р. № 1776/ст.

2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: модель розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних корпоративної інформаційної системи (далі – КІС) «Ситуаційний центр по конфліктним зонам повітряного простору» (далі - СЦЗКПП), а також основні вимоги до моделі об'єктів, що забезпечують роботу та необхідну архітектуру керування багато потоковою обробкою даних Thread Pool Executor.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналітичний огляд і постановка завдання, розробка моделі розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних в КІС СЦЗКПП, структура інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних в КІС СЦЗКПП, висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: схема структури бази

даних.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Етапи виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1	Проаналізувати існуючу нормативну базу. Накопичити матеріали з теми.	05.09.2022– 07.09.2022	
2	Дослідити підходи до засобів багато потокової обробки даних.	08.09.2022– 10.09.2022	
3	Розробити формальну модель проекту.	11.09.2022– 15.09.2022	
4	Розділ № 1 «Аналітичний огляді постановка завдання»	16.09.2022– 23.09.2022	
5	Розділ № 2 «Розробка моделі розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних в КІС СЦЗКПП»	24.09.2022– 03.10.2022	
6	Розділ № 3 «Структура інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних в КІС СЦЗКПП»	04.10.2022– 16.10.2022	
7	Завершити оформлення пояснювальної записки	17.10.2022– 30.10.2022	
8	Підготувати доповідь до захисту дипломної роботи	01.11.2022– 10.11.2022	
9	Підготуватись до захисту дипломного проекту	11.11.2022– 23.11.2022	

7. Дата видачі завдання: 05 вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи _____ Олена КОЛІСНИК
(підпис керівника) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Сергій МОСТЦЬКИЙ
(підпис випускника) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи «Ситуаційний центр по конфліктним зонам повітряного простору» викладена на 87 сторінках і містить 24 рисунки, 1 таблиця, 48 літературних джерел.

Об'єкт дослідження — ситуаційний центр по конфліктним зонам повітряного простору.

Предмет дослідження — система багато потокової обробки даних за допомогою структури Thread Pool Executor для забезпечення функціонування Ситуаційного центру по конфліктним зонам повітряного простору.

Мета дипломної роботи — розробка моделі розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних в КІС СЦЗКПП та дослідження доцільності впровадження процесу багато потокової обробки даних для прийняття рішення щодо використання повітряного простору в зонах конфліктів на підставі розрахунку ризиків.

Отримані результати – розроблено проект багато потокової обробки інформаційних запитів за допомогою Thread Pool Executor та запропоновані практичні рішення з його програмного застосування під час прийняття рішення щодо використання повітряного простору в зонах конфліктів.

Результати магістерської роботи можуть бути використані при проектуванні КІС та реалізації засобів багато потокової обробки даних для швидкого опрацювання інформації щодо ризиків польотів державної та цивільної авіації в повітряному просторі зон конфліктів.

Ключові слова: THREAD POOL EXECUTOR, БАГАТОПОТОКОВА ОБРОБКА ДАНИХ, СИТУАЦІЙНИЙ ЦЕНТР, ПОВІТРЯНИЙ ПРОСТІР, ОЦІНКА РИЗИКІВ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	8
1.1 Дослідження предметної області	8
1.2 Огляд і аналіз ситуації використання повітряного простору в зонах конфлікту.....	9
1.3 Класифікація ситуаційних систем (ситуаційних центрів)	16
1.4 Принципи моделювання ситуацій	18
1.5 Ситуаційний центри та їх структура	18
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1	20
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ У КІС СЦЗКПП	21
2.1 Архітектура розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних у КІС СЦЗКПП	21
2.2 Методологія формування запитів на обробку та зберігання даних	28
2.3 Математичне забезпечення розподільної комп'ютерної системи	38
2.4 Алгоритм роботи системи обробки та зберігання даних у КІС СЦЗКПП.....	49
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2	57
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ У КІС СЦЗКПП	58
3.1 Комп'ютерна мережа оцінки ризиків польотів у повітряному просторі	58
3.2 Структура інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП	63
3.3 Підсистема візуалізації	70
3.4 Верифікація результатів дослідження	74
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

КІС – корпоративна інформаційна система

СЦ – ситуаційний центр

СЦЗКПП – ситуаційний центр зон конфліктів повітряного простору

СППР - система підтримки прийняття рішення

СУБП – система управління безпекою польотів

БПОД - багато потокова обробка даних

ВСТУП

Сучасна система забезпечення безпеки польотів повинна будуватися на принципах попередження небезпечних факторів - принципах проактивного управління безпекою польотів. В основу функціонування СУБП повинен бути покладений достовірний прогноз небезпечних факторів і прийняття превентивних, запобіжних заходів щодо їх парирування.

Насьогодні прогнозування небезпечних факторів у повітряному просторі стало цілком можливим при застосуванні сучасних наукових підходів та інформаційних технологій.

Найважливішим елементом сучасної СУБП повинна стати підсистема інформаційно-аналітичного забезпечення, що включає:

- засоби збору, передачі, отримання, приймання, обробки і поширення інформації з питань безпеки польотів;
- персонал, задіяний в зборі, прийомі, обробці і передачі інформації;
- інформація, тобто сукупність відомостей про стан безпеки польотів в авіаційній системі і фактори, що впливають на її функціонування.

Першим кроком до побудови такої системи слід вважати створення в структурі органів безпеки польотів інформаційно-аналітичних ситуаційних центрів, оснащених сучасними програмно-моделюючими комплексами і укомплектованих висококваліфікованими спеціалістами.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Дослідження предметної області

Прийняття рішень щодо маршрутів польотів, якими користуються авіакомпанії, державні установи та приватні суб'єкти, є багат шаровим і передбачає взаємодію кількох зацікавлених сторін. Три групи організацій роблять свій внесок у вибір безпечних маршрутів польоту:

1. Держави в контексті управління повітряним простором: держави, які мають зону конфлікту на своїй території або поблизу від своєї території, повинні керувати безпекою свого повітряного простору.

2. Авіакомпанії (експлуатанти): авіакомпанії несуть відповідальність за рішення, які вони приймають щодо польоту над або в певному районі;

3. Держави в контексті Держави експлуатанта: держави, в яких базуються авіакомпанії, повинні допомагати цим авіакомпаніям у прийнятті рішень щодо польоту над або в певній області шляхом своєчасного обміну інформацією.

Політ над зонами конфліктів та в них – це міжнародна проблема, що містить складні взаємодії. Кожна з трьох груп організацій повинна виступати вирішальним бар'єром у системі, яка спрямована на запобігання трагедіям, пов'язаним з безпекою польотів та безпекою використання повітряного простору.

Кафедра КІТ (47)				НАУ 22 06 20 000 ПЗ			
				12.9			
<i>Виконав</i>	<i>Мостицький С.П.</i>			АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАННЯ	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Колісник О.В.</i>					8	
<i>Консультант</i>					УС-201Мз 122		
<i>Н контроль</i>	<i>Райчев І.Е.</i>						

1.2. Огляд і аналіз ситуації використання повітряного простору в зонах конфлікту

Катастрофи рейсів MH17 та PS752 спричинили кілька інших розслідувань та ініціатив, зосереджених на підвищенні безпеки авіації щодо зон конфліктів (заборонених зон та зон обмеження використання повітряного простору).

Спираючись на зусилля та роботу, зроблену після катастрофи рейсу PS752 за міжнародною ініціативою було створення загального набору практик для обміну інформацією та видання рекомендованих дій та обмежень, а також посилення практики управління ризиками в авіаційній галузі з метою кращого захисту пасажирів від ризику перельоту над зонами конфлікту або поблизу них.

Кожна група організацій може вирішити, що літати в певному повітряному просторі небезпечно. Крім того, кожна група організацій відіграє роль у обміні інформацією про загрози. Повітряний простір, який доступний для експлуатації авіакомпанії, обмежується рішеннями держави, яка управляє повітряним простором, Держави експлуатанта та самої авіакомпанії.

Повітряний простір Польоти цивільної та державної авіації
Обмеження, що накладає експлуатант
Заборона, обмеження та рекомендації, що впроваджені Державою експлуатанта
Заборона або обмеження, запроваджені державою, що керує повітряним простором

Рис. 1.1. Заборони та обмеження

Обов'язки різних організацій викладені в авіаційних правилах, яким повинні відповідати держави та авіакомпанії. Міжнародні рамки цивільної авіації встановлюються Міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО), агенцією ООН. Принципи, на яких базується робота ІКАО, визначені в Чиказькій конвенції, яка була ратифікована усіма її 193 державами-членами, та розроблені в Додатках,

Документах (Docs) та Керівництвах. Додатки містять стандарти, яких повинні дотримуватися держави-члени, та рекомендовану практику. Існує дев'ятнадцять додатків, що стосуються різних тем, включаючи безпеку польотів та авіаційну безпеку.

В Європейському Союзі (ЄС) законодавство, що стосується безпеки польотів, встановлено в Європейських правилах, які є безпосередньо обов'язковими для держав-членів ЄС. Оскільки держави-члени ЄС також є членами ІКАО, європейські вимоги повинні відповідати стандартам ІКАО. Європейська комісія є виконавчим органом Європейського Союзу. Європейська комісія несе відповідальність за пропозицію законодавства, управління бюджетом ЄС, виконання законодавства ЄС та представництво ЄС на міжнародному рівні. Агентство з безпеки польотів Європейського Союзу (EASA) - це спеціалізоване агентство ЄС, яке виконує функції органу з безпеки польотів. Завданнями EASA є підготовка пропозицій щодо європейського законодавства; сертифікація авіаційної продукції, такої як літаки, двигуни та деталі; забезпечення нагляду та підтримки держав-членів EASA; та затвердження авіаційних організацій.

Усі держави мають суверенітет щодо повітряного простору над власною територією. Це означає, що відповідна держава здійснює повний і виключний контроль над власним повітряним простором і несе відповідальність за управління повітряним простором над своєю територією. З міркувань безпеки польотів держава має можливість, а також відповідальність, обмежити або заборонити доступ до свого повітряного простору. Це може знадобитися, коли зростає військова напруга або коли держава стикається з конфліктом із (потенційним) використанням зброї на своїй території. Управління повітряним простором державами, які мають зону конфлікту на своїй території або поблизу від своєї території, є надзвичайно важливим, оскільки це перший крок у захисті авіації.

Обов'язки та зобов'язання держав щодо управління повітряним простором та загроз зони конфлікту викладені в різних стандартах ІКАО. Перш за все, держави зобов'язані контролювати рівень і характер загроз цивільній авіації на їх

території та повітряному просторі над нею. Крім того, на державному рівні необхідна координація з органами влади, що надають обслуговування повітряного руху (ОПР), для діяльності, яка потенційно небезпечна, у першу чергу, для цивільних літаків.

Діяльність, потенційно небезпечна для цивільної авіації, включає військову діяльність. Ці заходи варіюються від навчальних вправ, практичної стрільби та випробувань зброї до операцій у зонах конфлікту та потенціалу збройних конфліктів. Керівництво ІКАО обговорює аспекти, що впливають на ризики в зонах конфлікту або поблизу них. Ці документи пропонують державні вказівки щодо управління повітряним простором.

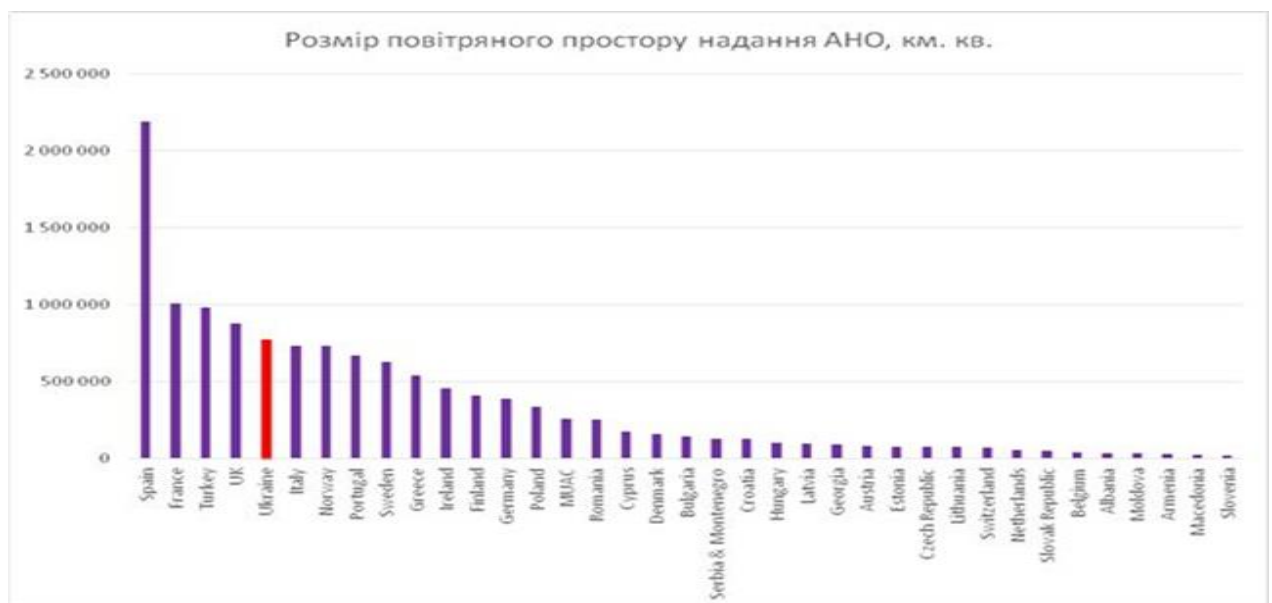


Рис. 1.2. Транзитний потенціал України

Рекомендується спільний процес прийняття рішень. Ключовим елементом цього процесу є те, що цивільні та військові зацікавлені сторони своєчасно обмінюються всією інформацією, що стосується експлуатації літаків. Міжнародні стандарти були змінені, щоб забезпечити, що на основі всієї відповідної інформації відповідний орган ОПР проводить оцінку ризику безпеки польотів для цих потенційно небезпечних видів діяльності, щоб запровадити відповідні заходи

щодо зменшення ризику для захисту цивільних повітряних суден. Ці заходи можуть включати:

- закриття всього або частини повітряного простору;
- обмеження, наприклад, висоти польоту або маршрутів ОПР, що використовуватимуться;
- або публікацію попереджень та інформаційних повідомлень.

Після катастрофи рейсу МН17 було прийнято новий стандарт ІКАО, який вимагає від держав впровадження процедур надання своєчасної інформації відповідним сторонам, таким як авіакомпанії, і цим сприятиме проведенню ефективної оцінки ризику безпеки польотів. Координація між військовими та цивільними зацікавленими сторонами щодо діяльності, загроз та заходів щодо пом'якшення наслідків дозволяє швидко оприлюднювати інформацію про діяльність, яка потенційно небезпечна для цивільної авіації. Стандарти ІКАО були змінені, щоб спеціально вказати, що для інформування експлуатантів цивільних літаків про зони конфлікту держава зобов'язана надіслати Повідомлення льотному складу (NOTAM). NOTAM повинен містити максимально конкретну інформацію щодо характеру та масштабів загроз, що створюються цим конфліктом, та його наслідків для цивільної авіації. Окрім NOTAM, держава має інші засоби для офіційного опублікування аеронавігаційної інформації тривалого характеру, а саме як частина Публікації аеронавігаційної інформації (AIP) або шляхом видачі Циркуляра аеронавігаційної інформації (AIC).

На момент катастрофи рейсу МН17 більшість держав, які стикалися з конфліктом на своїй території або поблизу, не закривали і не обмежували свій повітряний простір та не опубліковували інформацію про конфлікт за допомогою аеронавігаційних публікацій. З одинадцяти зон конфліктів, які були розглянуті РБН в липні 2015 року, три держави обмежили або частково закрили свій повітряний простір для цивільної авіації, а одна держава видала попередження. У 2019 році, Рада дійшла висновку, що ситуація щодо управління повітряним простором стосовно зон конфлікту не покращилася. З п'ятнадцяти держав, про які

відомо, що вони стикалися з конфліктом у вересні 2018 року, лише одна держава заборонила частину свого повітряного простору, а дві держави попередили про ризику, спричинені конфліктом на їх території.

Рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 4 червня 2021 року (Введено в дію Указом Президента України від 18 червня 2021 року № 260/2021) “Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони”, з метою підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття управлінських рішень, взаємодії, координації і контролю за діяльністю органів виконавчої влади, правоохоронних органів та військових формувань у сферах національної безпеки і оборони у мирний час, а також в особливий період, у тому числі в умовах воєнного стану, в умовах надзвичайного стану та під час виникнення кризових ситуацій, вирішено:

1. Визнати за необхідне розширення та подальший розвиток єдиної мережі ситуаційних центрів, до складу якої мають входити Головний ситуаційний центр України, Урядовий ситуаційний центр, ситуаційні центри органів сектору безпеки і оборони, ситуаційні центри центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, а також резервні та рухомі ситуаційні центри.

2. Установити, що Урядовий ситуаційний центр, ситуаційні центри органів сектору безпеки і оборони, ситуаційні центри центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, резервні та рухомі ситуаційні центри оснащуються уніфікованим програмним та апаратним забезпеченням із інформаційно-аналітичного супроводження прийняття управлінських рішень, яке має включати, зокрема:

- сховище даних та систему керування базами даних;
- інструменти аналізу та візуалізації даних від різних джерел, а також побудови прогностичних моделей на їх основі;

- модуль геоінформаційних систем і технологій для створення та роботи з наборами геопросторових даних;
- захищений відеоконференцзв'язок для забезпечення синхронного обміну аудіовізуальною інформацією в режимі реального часу;
- електронні комунікаційні мережі для забезпечення обміну інформацією, включаючи передачу даних та аудіовізуальної інформації з різними ступенями обмеження доступу між комунікаційними вузлами, ситуаційними центрами та іншими суб'єктами інформаційного обміну;
- технічну підтримку програмно-апаратного комплексу для забезпечення інтероперабельності, стійкого і безперервного функціонування, тестування, конфігурації та відстеження продуктивності згідно з визначеним регламентом.



Рис. 1.3. Ситуаційний центр зон конфліктів повітряного простору

Відповідно до вимог розділів II, IV Повітряного кодексу України, пункту 3 постанови Кабінету Міністрів України від 06 грудня 2017 року № 954 «Про затвердження Положення про використання повітряного простору України», з метою встановлення загальних правил і процедур стосовно організації використання повітряного простору України, а також міжнародного повітряного простору, відповідальність за обслуговування повітряного руху в якому

міжнародними договорами України покладено на Україну спільним наказом Державної авіаційної служби України та Міністерства оборони України 11.05.2018 № 430/210 (zareєстровано в Міністерстві юстиції України 14 вересня 2018 р. за № 1056/32508) Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України»

Адекватне управління повітряним простором державами є сильним бар'єром проти ризику катастроф, серйозних інцидентів та інцидентів з повітряними суднами. Стандарти ІСАО та керівні принципи, пов'язані з управлінням повітряного простору постійно адаптуються до сучасних кризових ситуацій в мірі, а також до стрімкої тенденції розвитку авіації.

Перш за все, держави повинні контролювати загрози цивільній авіації на їх території та в повітряному просторі над нею. Держави також координують цю інформацію з повноважними органами обслуговування повітряного руху. Ці повноважні органи забезпечують те, щоб оцінка ризику безпеки польотів виконувалася для видів діяльності, потенційно небезпечної для цивільної авіації Крім того, держави з конфліктом на їхній території інформують інші держави та авіакомпанії про цей конфлікт та ступінь загроз через НОТАМ.

Навіть тоді, коли держави все ж таки публікують інформацію про конфлікт, і навіть якщо вони обмежують доступ до свого повітряного простору внаслідок конфлікту, у зміст інформації, наданої у цих аеронавігаційних публікаціях, не вистачає деталей щодо наявних фактичних загроз, таких як: характер конфлікту, системи озброєння, що застосовуються та можливих наслідків для цивільної авіації. Це ускладнює для авіакомпаній та держав збирання відповідної інформації про відповідні загрози безпосередньо від держав із зоною конфлікту на їх території або поблизу їх території з тим, щоб виконати належну оцінку ризику.

Як висновок, управління повітряним простором в зоні конфліктних ситуацій є найважливішим бар'єром безпеки польотів, але на практиці він є слабким. Авіакомпанії не можуть прийняти як належне те, що відкритий

повітряний простір над зоною конфлікту є безпечним. Отже, додаткові заходи авіакомпаній та їх держав постають необхідними для забезпечення вибору безпечних маршрутів.

Стандарт у Додатку 17 ІКАО, який набув чинності в листопаді 2018 року, передбачає, що держава повинна встановити та впровадити процедури для своєчасного обміну відповідною інформацією з кінцевими споживачами (такими як експлуатанти аеропортів, експлуатанти повітряних суден та постачальники послуг повітряного руху) з метою оцінки ризиків. Таким чином, держави, які мають відповідну інформацію про загрози, повинні негайно поділитися нею з авіакомпаніями та іншими відповідними зацікавленими сторонами шляхом надійного та структурованого процесу.

У межах держави кілька національних органів влади зазвичай беруть участь у процесі збору та обміну інформацією про загрози для цивільної авіації, такі як орган цивільної авіації, спецслужби, що займаються питаннями внутрішньої та/або зовнішньої безпеки, військові органи та пов'язані з ними міністерства. Організація та структура державних процедур збору та обміну інформацією відрізняються у різних держав. Інформація про загрози часто передається в конфіденційному контексті через її чутливість або класифікацію.

1.3. Класифікація ситуаційних систем (ситуаційних центрів)

СЦ – це організаційна форма інформаційно-аналітичної діяльності, яка базується на синтезі комунікаційних технологій, засобів накопичення і відтворення інформації, а також ланки комп'ютерних засобів для підтримки прийняття рішень. СЦ поєднує сукупність методів, алгоритмів, моделей прийняття управлінських рішень із застосуванням комплексу інформаційних технологій, що підтримують та реалізують ці рішення.

В контексті дослідження предметної області СЦЗКПІ визначається як сукупність організованих автоматизованих робочих місць з набором апаратно-

програмних засобів, що забезпечують поповнення інформації про ситуацію в повітряному просторі, виконання процедур побудови моделей загроз, аналіз поточної та перспективної ситуації в повітряному просторі, а також графічного представлення результатів,.

СЦ в системи ситуаційного моделювання можна поділити на три основні класи за призначенням:

1) системи для ситуаційного відображення інформації, які в свою чергу поділяються на:

- розподілені системи ситуаційного відображення інформації;
- ситуаційні центри відображення.

2) системи для динамічного моделювання ситуацій, які в свою чергу поділяються на:

- адаптивні;
- спеціалізовані;

3) аналітичні ситуаційні системи, які в свою чергу поділяються на:

- системи ситуаційного управління;
- автореферіруючі системи;
- аналітичні ситуаційні центри;
- експертні системи реального часу. [1]

Запропонований до розгляду СЦЗКПП поєднує в себе декілька системи ситуаційного моделювання але в більшій мірі його можна віднести до аналітичних ситуаційних систем з відображенням наочних образів ситуацій, які виникають в предметній області, для прийняття управлінських рішень.

1.4. Принципи моделювання ситуацій

Серед ситуаційних систем виділяють статичні, динамічні і багатопотокові системи. Багатопотокові програми працюють в реальному часі і аналізують

інформацію з великої кількості різномірних джерел. За своїм завданням і функціям вони наближаються до експертних систем реального часу. Аналітичні ситуаційні центри є системою оперативної аналітичної обробки великої кількості взаємозалежної інформації.

СПЗКПП як аналітична ситуаційні системи, зокрема системи ситуаційного управління, реалізує принцип, який припускає, що кількість станів системи велике, число можливих рішень і ситуацій обмежена. В цьому випадку відповідне рішення про використання повітряного простору приймається в залежності від ситуації на підставі великої кількості різнопланових вихідних даних.

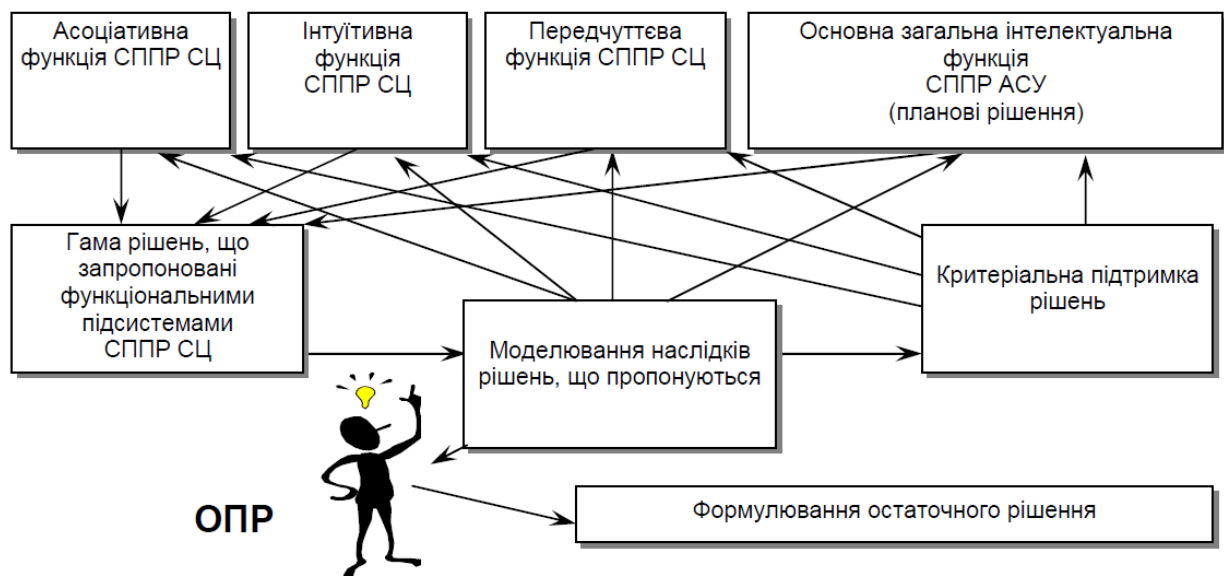


Рис. 1.4. Формулювання остаточного рішення

1.5. Ситуаційний центри та їх структура

Структура будь якого СЦ, як і будь-якої інформаційної системи, включає в себе функціональну структуру і різні види забезпечення: кадрового, технічного, програмного, організаційного, математичного, інформаційного, лінгвістичного тощо).

Вважається, що функціональна структура СЦ обов'язково передбачає наявність трьох базових модулів, що відповідають як за динамічне (імітаційне)

моделювання поведінки зовнішнього і внутрішнього середовища, так і за їх взаємодію.

Велике значення має інформаційна інфраструктура, що складається із сукупності програм та інформаційних потоків, що забезпечують функціонування базових модулів і середовища СЦЗКПП в який входять всі види систем ситуаційного моделювання.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

В цьому розділі було досліджено необхідність створення Ситуаційного центру зон конфліктів повітряного простору та його інтеграція в міжнародну

систему інформування про загрози використання повітряного простору. Проаналізовано фактори що сприяють покращенню рівня безпеки міжнародного повітряного руху, бажання України підтримувати європейський курс інтеграції та покращення довіри зі сторони міжнародних авіаперевізників, що стимулює їх більш активно використовувати повітряний простір над територією України.

Проведено огляд та класифікацію ситуаційних систем (центрів), їх структуру та функціонування, а також класифіковано СЦЗКПП як інформаційно-аналітичну ситуаційну систему.

СЦЗКПП на основі використання сучасної техніки, методологій, інформаційних технологій дозволяє створити, реалізувати та забезпечити такі складові рішень, як системність, прогноз передбачуваних процесів розвитку, оцінка фактору ризику використання повітряного простору. При цьому зазначається, що для забезпечення багато потокової обробки інформаційних запитів, що мають бути підґрунтям для прийняття рішення щодо безпеки використання повітряного простору використовуються різні канали зв'язку, комп'ютерні та телекомунікаційні мережі, сучасні обчислювальні та інформаційні технології.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ В КІС СЦЗКПП

-
- **2.1 Архітектура розподільної комп'ютерної системи**

обробки та зберігання даних у КІС СЦЗКПІ

При побудові розподільної комп'ютерної системи обробки та зберігання даних у КІС СЦЗКПІ командний елемент або його частина вноситься за [11,31] межі БЛА та зв'язується з виконавчим елементом лінією передачі.

Найбільші проблеми виникають при розробці системи управління (СУ). Це з тим, що БЛА повинен виконувати завдання в умовах автономного польоту, отже, мати повну функціонально замкнуту СУ. Крім того, малі розміри та маса БЛА призводять до збільшення кількості та діапазону зовнішніх впливів на дані об'єкти в порівнянні з існуючими літальними апаратами, і, отже, посилюють вимоги до елементної бази СУ. У зв'язку з цим СУ має вирішувати такі завдання:

- стабілізація параметрів руху об'єкта стосовно зовнішніх перешкод різної природи;
- аналіз зовнішніх даних бортовими засобами та визначення пріоритетної мети залежно від поставленого перед БЛА завдання;
- розрахунок оптимальної траєкторії руху з метою зменшення часу руху та витрати ресурсів БЛА;
- контроль правильності утримання траєкторії;
- забезпечення відмовостійкості об'єкта управління або компенсація змін його характеристик бортовими засобами;

виконання обчислювальних операцій великого обсягу у реальному масштабі часу для реалізації алгоритмів управління БЛА.

Слід підкреслити, що основною функцією, що вирішується СУ, є управління рухом центру мас (три канали управління) та кутовими рухами БЛА щодо центру мас (три канали управління). Якщо не потрібно точно витримувати рух літального

апарату заданою траєкторією, то керують тільки його кутовими рухами. Управління кутовими рухами забезпечує цілком певне положення БЛА у просторі по відношенню до вектора швидкості центру мас. Управління рухом центру мас забезпечує політ найкращою (оптимальною) траєкторією, наприклад, найкоротшим шляхом за найкоротший час.

Таким чином, керування польотом БЛА зводиться до управління параметрами його руху: кутовими координатами, кутовими швидкостями та прискореннями, лінійними координатами (дальністю, висотою, бічним переміщенням) тощо.

Існуючі СУ поділяють на автономні та неавтономні. Крім того, в окрему групу можуть бути виділені комбіновані СУ. Особливістю автономних СУ є те, що сигнали керування рухом виробляються апаратурою, повністю розташованою на борту, причому ця апаратура після запуску не отримує жодної інформації з пункту керування. Автономні СУ діють за наперед визначеною програмою.

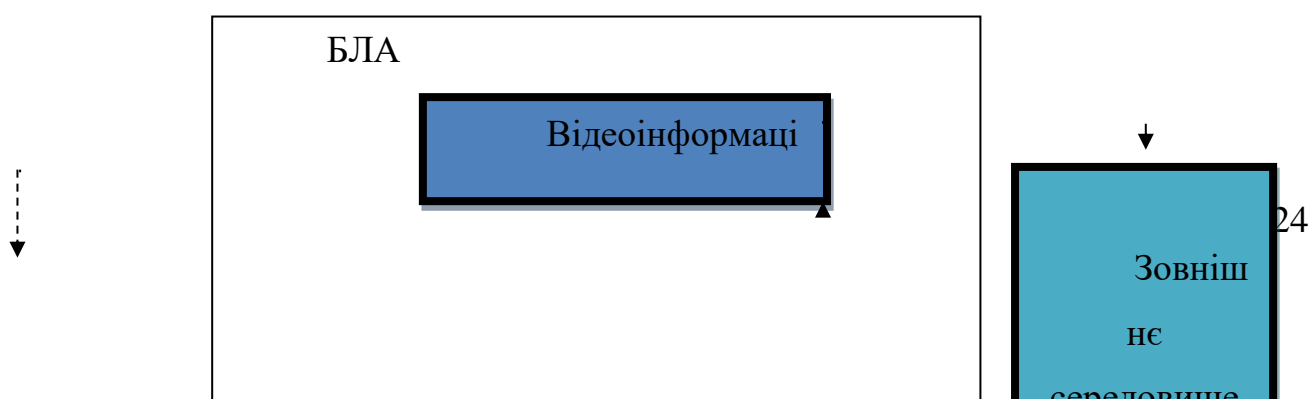
При використанні автономних систем існує два методи отримання сигналів, що управляють. Можна перед стартом розрахувати, як повинні змінюватися в часі основні параметри руху БЛА (швидкість, кут і т.д.), що визначають траєкторію руху. Отримані функції часу вводяться в спеціальні пристрої у якості заданих величин або програм. Після старту в процесі польоту БЛА відповідними пристроями постійно змінюються поточні (дійсні) значення зазначених параметрів. СУ здійснює порівняння розрахункових значень параметрів з поточними значеннями та за їх нерівності виробляє відповідні сигнали управління. Якщо на БЛА встановлено апаратуру, що дозволяє вести безперервний вимір її координат у просторі, то автономне керування можна здійснити інакше. Координати, які отримують від апаратури, автоматично вводяться в бортовий обчислювальний пристрій, який відповідно до попередньо закладеної програми обчислює величину сигналів управління. Отже, заздалегідь не визначається певна траєкторія, а щоразу обчислюється залежно від поточних координат. При цьому передбачається, що координати об'єкта попередньо

закладені в обчислювальний пристрій. На роботу таких СУ не впливають штучно створювані перешкоди. Це основна їхня гідність. Крім того, ці системи можна використовувати для управління БЛА з великою дальністю польоту.

Визначення власних координат повітряним судном відбувається щомиті при стандартній роботі приймача супутникової навігаційної системи (СНС). При переналаштуванні приймача частота визначення власних координат може бути збільшена. Практично збільшення частоти не дає виграшу в точності визначення координат, так як швидкість зміни координат накладає обмеження на маневреність БЛА. Характер руху протягом однієї секунди змінюється мінімально, і положення БЛА можна досить точно розрахувати за його попереднім становищем, динамікою польоту та поточним маневром. Насправді стоїть завдання не тільки знати, де і в який час знаходиться об'єкт, але і в залежності від його розташування зробити реакцію у відповідь.

Отже, ситуацію можна поділити на три умовні категорії. Перша – найпростіший випадок моніторингу. Завдання системи полягає у фіксації розташування об'єкта з прив'язкою до часу. Друга – це розширення першої. Причому, на додаток до спостереження, система виробляє в собі реакцію у відповідь (сигналізацію, набір обчислювальних процедур, вироблення внутрішньої команди). У цьому випадку час на вироблення реакції у відповідь і на її виконання мізерно мало в порівнянні з дискретністю відліку розташування об'єкта. Третя категорія – передача обчислених у другому випадку даних назад на борт літального апарату. Наприклад, з метою корекції його руху. Тут складаються часи передачі координат із літального апарату на пункт спостереження, вироблення команди та передачі команди назад на борт апарату.

Розглянемо розташування командного елемента пункту управління. Одним із методів управління БЛА є пілотажний (рисунок 2.1).



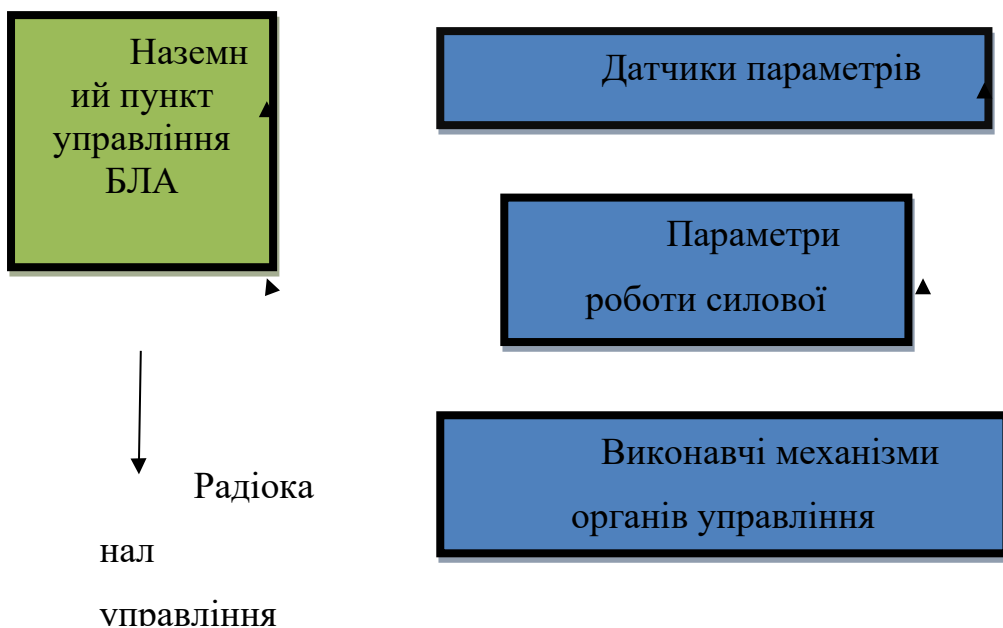


Рис.2.1. Структура пілотажного методу управління БЛА

І тут управління йде безпосередньо виконавчими механізмами планера. З пункту управління передаються задані кути відхилення рульових аеродинамічних площин та режими силової установки. Очевидно, що для БЛА з високошвидкісними характеристиками та високою маневреністю потрібна дуже швидка доставка команд управління з пункту управління на борт. Одночасно з цим пілотажне керування вимагає високого ступеня втручання оператора в процес керування літальним апаратом, що, своєю чергою, вимагає високої концентрації оператора, а також високого ступеня підготовки.

Крім пілотажного методу управління БЛА, розглянемо ще один метод управління, який за своєю суттю є навігаційним (рисунок 2.2).

Управління БЛА здійснюється не передачею команд для виконання маневрів, а шляхом завдання точок маршруту щодо земної поверхні. Цей спосіб керування вимагає перенесення частини обчислень з пункту керування на борт БЛА.

Всі обчислення щодо виявлення відхилень у русі від заданої траєкторії виконуються вже на борту. Відповідно, ще більше знімається навантаження з

радіолінії. Нею тепер передаються лише зміни навігаційної програми (зміна маршруту руху щодо раніше запланованого). В цьому випадку при виникненні будь-яких відхилень від заданої траєкторії навігаційний обчислювач здатний сам без участі зовнішнього пункту управління виробити набір команд для корекції руху.

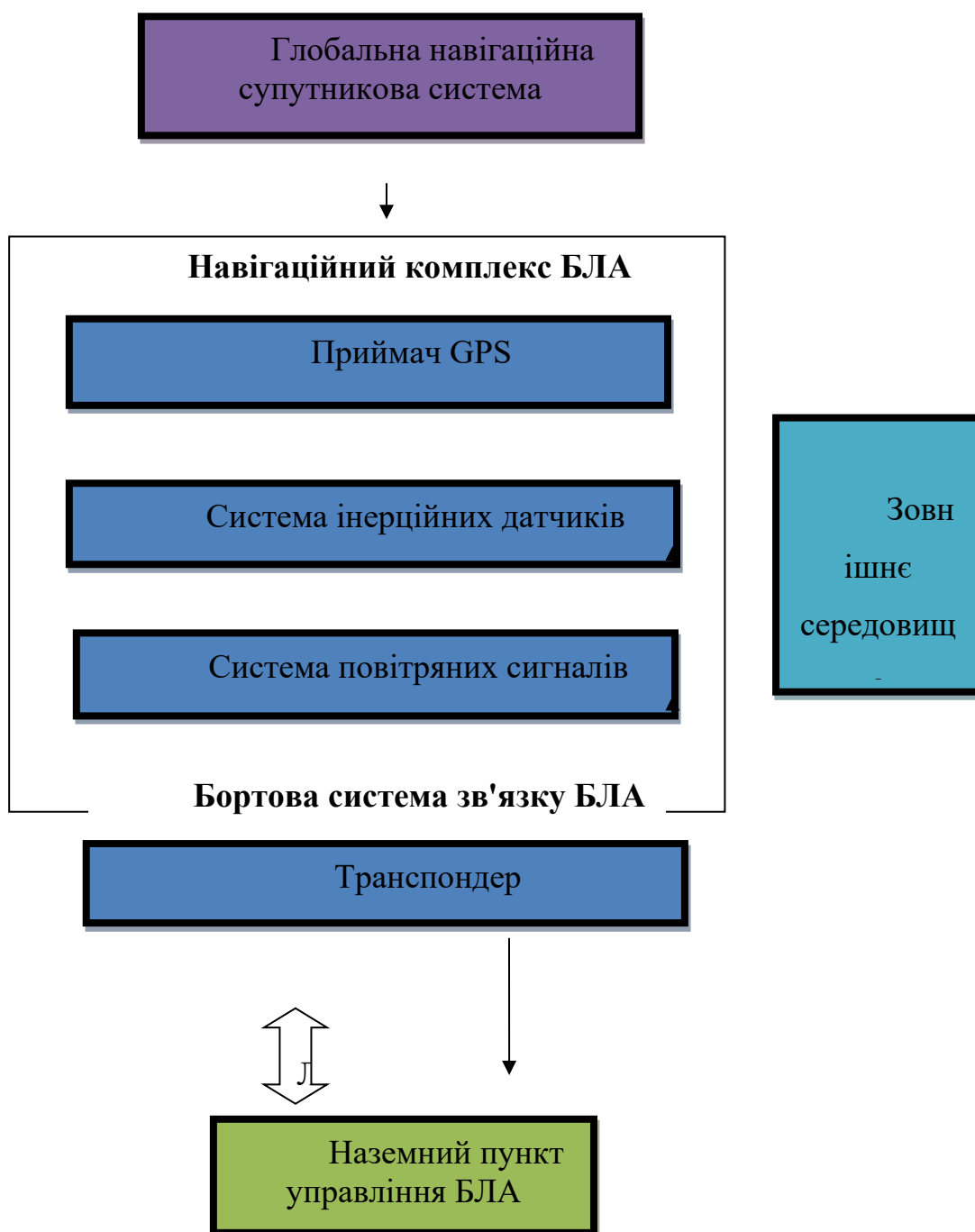


Рис.2.2. Структура навігаційного методу управління БЛА

Однак це управління підвищує вимоги до апаратури навігаційного обчислювача (до пам'яті, продуктивності та програмного забезпечення).

У такому разі до складу бортового комплексу навігації та управління повинні входити:

- приймач супутникової навігації, що забезпечує прийом навігаційної інформації від систем GPS;
- система інерційних датчиків, що забезпечує визначення орієнтації та параметрів руху БЛА;
- система повітряних сигналів, що забезпечує вимірювання висоти та повітряної швидкості;
- апаратура лінії передачі даних, різні види антен, призначені до виконання завдань.

Бортова система навігації та управління забезпечує:

- політ по заданому маршруту (завдання маршруту провадиться із зазначенням координат та висоти поворотних пунктів маршруту);
- зміна маршрутного завдання або повернення до точки старту за командою з наземного пункту управління;
- обліт вказаної точки;
- автосупровід обраного об'єкта;
- стабілізацію кутів орієнтації БЛА;
- підтримку заданих висот та швидкості польоту (шляхової, чи повітряної);
- збір та передачу телеметричної інформації про параметри польоту та роботу цільового обладнання;
- програмне керування пристроями цільового обладнання.

Бортова система зв'язку:

- функціонує у дозволеному діапазоні радіочастот;
- забезпечує передачу даних із борту на землю та із землі на борт.

Дані, що передаються з борту на землю:

- параметри телеметрії;
- потокове відео- та фотозображення.

Дані, що передаються на борт, містять:

- команди управління БЛА;
- команди управління цільовою апаратурою.

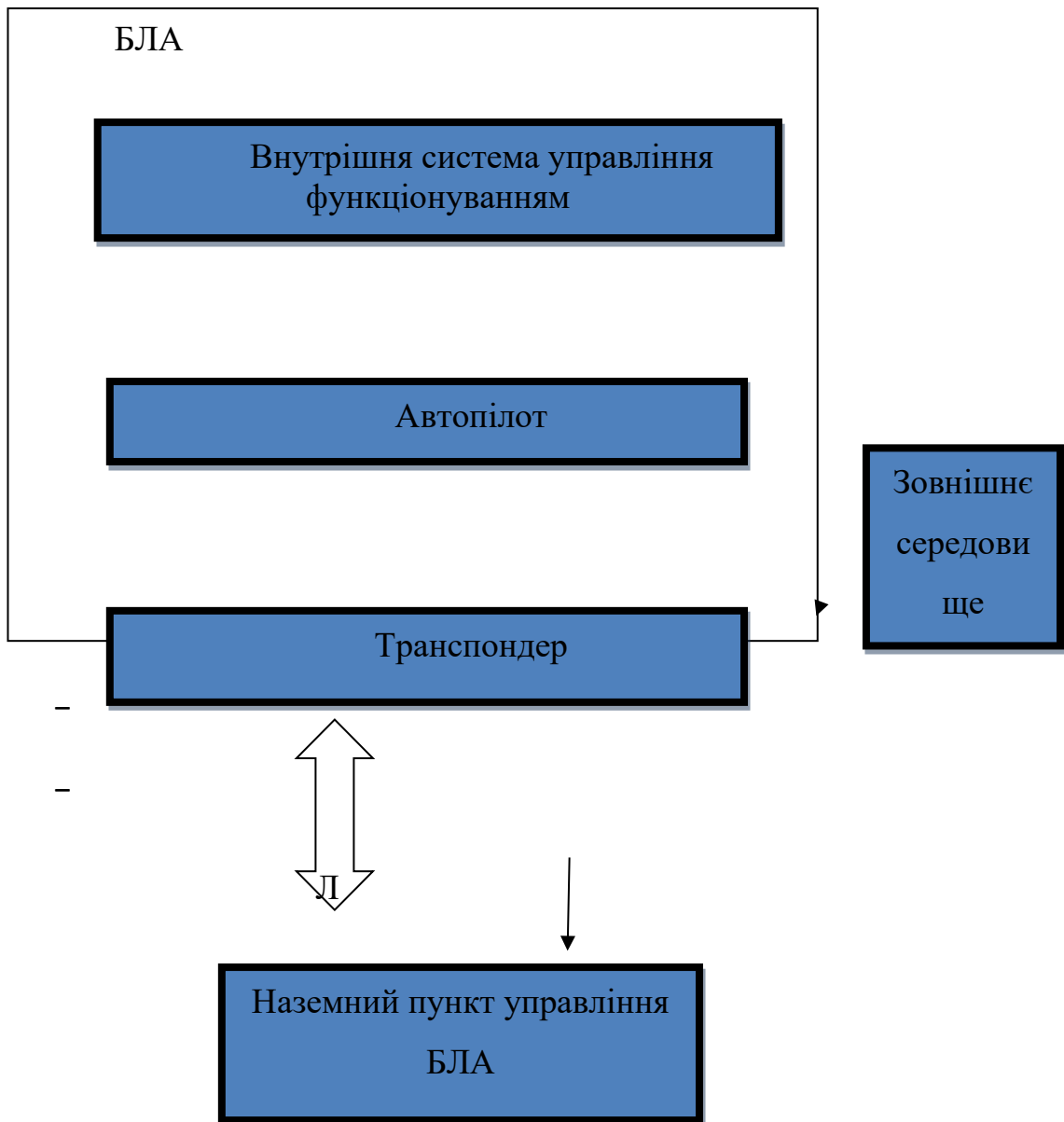


Рис. 2.3. Структура автоматичного методу управління БЛА

Інформація, отримана з БЛА, повинна класифікуватися залежно від ступеня загрози, що представляється. Класифікація проводиться оператором або безпосередньо бортовим комп'ютером (автопілотом) БЛА. У другому випадку програмне забезпечення комплексу містить елементи штучного інтелекту і потрібно виробити кількісні критерії та градації рівнів загрози. Такі критерії можуть бути сформульовані шляхом експертних оцінок та формалізовані таким чином, щоб мінімізувати ймовірність хибного сигналу тривоги.

- Третім методом управління БЛА є автоматичний (рисунок 2.3).

Для його використання має бути створена внутрішня система управління функціонуванням (ВСУФ) БЛА. Вона призначена для реалізації алгоритмів функціонування внутрішніх систем та пристроїв літального апарату для досягнення мети завдання та фактично реалізує локальні функції управління у повітряному просторі.

2.2 Методологія формування запитів на обробку та зберігання даних

У високих широтах екіпажі ПС використовують GPS. Для досягнення таких найважливіших якостей, як безперервність та висока точність навігаційних визначень [4, 8, 15, 30], у глобальній робочій зоні у складі сучасних СНС типу GPS функціонують три основні системи:

- система космічних апаратів, що складається з навігаційних штучних супутників Землі (мережа навігаційних супутників або космічний сегмент);
- система контролю та управління (наземний командно-вимірювальний комплекс або сегмент управління);
- апаратура споживачів.

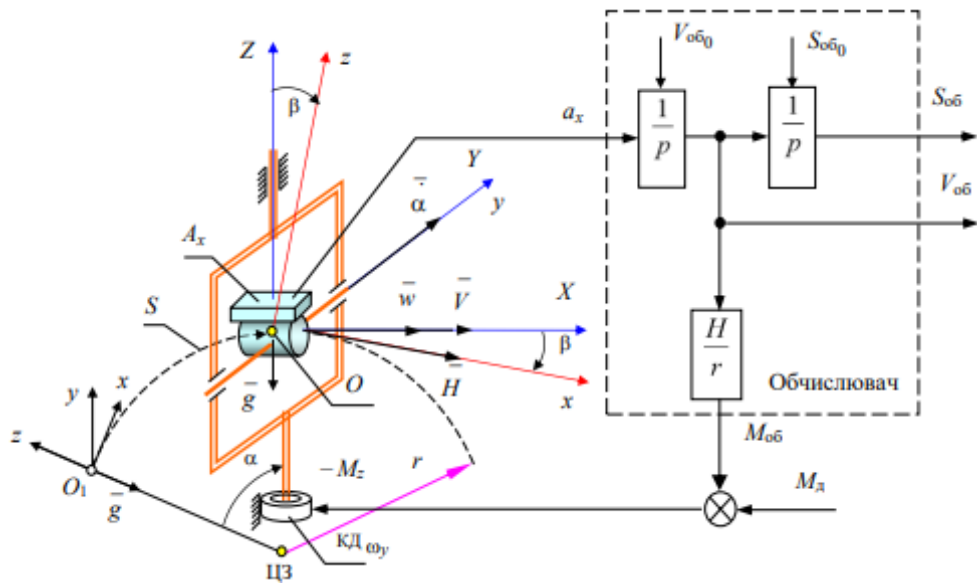


Рис. 2.4. Схема навігаційної системи

Основною операцією, що виконується в СНС за допомогою цих сегментів, є визначення просторових координат розташування споживачів та часу, тобто просторово-часових координат. Цю операцію здійснюють відповідно до концепції незалежної навігації, що передбачає обчислення навігаційних параметрів, що визначаються, безпосередньо в апаратурі споживача. У рамках цієї концепції в СНС обрано позиційний спосіб визначення місцезнаходження споживачів на основі пасивних далекомірних вимірювань за сигналами кількох навігаційних супутників землі з відомими координатами [3, 7, 19].

Координати споживача у системі визначаються у вигляді їх розрахунку псевдодальностям (ПД) до НКА (навігаційний космічний апарат). Псевдодальність розраховується за тимчасовими затримками T_i T_i сигналу по трасі «і-й НКА – споживач» та відомої швидкості поширення радіохвиль – з:

$$D_i = cT_i \tag{2.1}$$

де T_i T_i – час розповсюдження сигналу

$$T_i = T_{пр} - T_{вип} \tag{2.2}$$

$T_{изл}$ $T_{вип}$ – значення часу на бортовій шкалі в момент випромінювання деякої

фази далекомірного коду з супутника;

$T_{\text{пр}} T_{\text{пр}}$ – значення часу на шкалі споживача в момент прийому тієї ж фази далекомірного коду у споживача.

Вираз для псевдодальності щодо i -го супутника можна записати як [20]:

$$D_i = \sqrt{(X_{iT_{\text{вип}}} - X_{T_{\text{пр}}})^2 + (Y_{iT_{\text{вип}}} - Y_{T_{\text{пр}}})^2 + (Z_{iT_{\text{вип}}} - Z_{T_{\text{пр}}})^2} + \delta D_i \quad (2.3)$$

$X_{T_{\text{пр}}}, Y_{T_{\text{пр}}}, Z_{T_{\text{пр}}}$ – координати споживача;

$X_{iT_{\text{вип}}}, Y_{iT_{\text{вип}}}, Z_{iT_{\text{вип}}}$ – координати i -го супутника.

δD_i – похибка визначення псевдо дальності.

Похибка визначення псевдодальності δD_i визначається як сума приватних складових похибок і може бути подана у вигляді [14]:

$$\sigma_{\text{пд}} = \sqrt{\sigma_{\text{Еі}}^2 + \sigma_{\text{чтп}}^2 + \sigma_{\text{бпр}}^2 + \sigma_{\text{прт}}^2 + \sigma_{\text{прі}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{РГЕ}}^2} \quad (2.4)$$

де $\sigma_{\text{Еі}}$ – похибка Ефіміридної інформації;

$\sigma_{\text{чтп}}$ – частотно-тимчасові поправки;

$\sigma_{\text{бпр}}$ – похибка багатопроменевого розповсюдження;

$\sigma_{\text{прт}}$ – похибка поширення радіохвиль у трапосфері;

$\sigma_{\text{прі}}$ – похибка поширення радіохвиль в іоносфері;

$\sigma_{\text{пр}}$ – шуми та похибки приймача;

$\sigma_{\text{РГЕ}} - \sigma_{\text{РГЕ}}$ – похибки гравітаційних ефектів.

Перешкоди радіоприйому створюються як природним шляхом, так і штучними джерелами. До природних джерел перешкод у високих широтах відносяться полярні саява, позаземні джерела перешкод та ін. Штучними джерелами є радіотехнічні засоби, такі як радіомовні, радіонавігаційні та зв'язкові засоби.

Проаналізуємо кожен з вищевказаних похибок, методи їх корекції та особливості експлуатації СНС на високих широтах.

Помилки обчислення орбіт виникають внаслідок неточностей прогнозу та розрахунку ефемерид супутників, виконуваних в апаратурі приймача. Під час проведення експериментальних досліджень під ефемеридними похибками мають на увазі такі похибки:

- трансверсальна (щодо траєкторії);
- радіальна;
- нормальна (по нормалі до площини, що утворюється векторами).

Визначені вище ефемеридні похибки прийнято перераховувати в еквівалентну помилку визначення псевдодальності.

$$\sigma_{\text{еф}}^2 = k_r \sigma_r^2 + k_{ig} (\sigma_n^2 + \sigma_l^2) \quad (2.4)$$

де коефіцієнти k визначають внесок відповідних помилок у підсумкову помилку та залежать від взаємного становища НКА і споживача. Були розраховані [9] усереднені (за різними кутівими положеннями НКА та споживача) значення цих коефіцієнтів:

$$k_r = 0,959$$

$$k_{ig} = 0,0204$$

Частотно-тимчасова (часова) похибка

До далекомірних похибок частотно-часової області можна віднести і похибки, які вносяться груповою затримкою навігаційного сигналу в апаратурі супутника. Групова затримка це інтервал часу між вихідним навігаційним сигналом у фазовому центрі передавальної антени і вихідним сигналом бортового еталона частоти і часу. Систематична складова групової затримки вимірюється при складанні та калібруванні апаратури супутника, вона індивідуальна для кожного НКА та передається у складі його службового повідомлення. Випадкова складова розглядається у складі далекомірної похибки і зазвичай не перевищує 3 нс. Ступінь достовірності частотно-часових поправок залежить від їхнього «віку», тобто від терміну, що минув з моменту завантаження на згадку про бортовий обчислювач. У ситуації, коли відбувається затінення супутника, корекція ефемерид супутника тривалий час неможлива. Для зменшення залежності від

інтервалу між оновленнями даних застосовується режим міжспутникових вимірювань, реалізований у GPS на супутниках типу BlockIIР.

Похибка багатопроменевого поширення –

Погрешність многолучового распространения $\sigma_{млр}$ – при роботі приймача в умовах, відмінних від «вільного простору», на його вхід, крім сигналів НКА, можуть надходити перевідбиті від місцевих предметів (а також від поверхні, що підстилає) сигнали. Це призводить до зміщення вимірюваного в приймачі положення максимуму кореляційної функції опорного сигналу з сумішшю вхідних сигналів, що надійшла, тобто до виникнення похибки в оцінці часу прийому сигналу, а отже, і в оцінці псевдодальності. У високих широтах можна знехтувати індустріальними перешкодами, які можуть бути віднесені до квазіімпульсних перешкод через погано розвинену інфраструктуру. У високих широтах істотне значення мають сигнали, подібні до перешкод, обумовлені проходженням в точку прийому відбитого від льодових покриттів сигналу [1, 12]. Розсіювання в атомосфері. складається з розсіювання радіохвиль при проходженні трапосфери та атмосфери.

Основна проблема при компенсації іоносферної затримки полягає в тому, що значення затримки дуже широко змінюється в залежності від регіону, в якому розташовано прийомоіндикатор, часу доби та року, сонячної та геомагнітної активності. У полярній іоносфері істотно впливають неоднорідності, сформовані випаданням протонів і електронів з полярного каспа при магнітних і іоносферних бурях, авроральні і субавроральні неоднорідності.

Оскільки у літнє півріччя Сонце у високих широтах не опускається за горизонт, на відміну помірних широт, іоносферні станції цілодобово фіксують значення E, F₁ і P₂, причому зміна критичних частот переважно характеризується тими самими закономірностями, як у середніх широтах. Відмінність полягає в тому, що амплітуда добових та сезонних змін помітно менше і зменшується в міру збільшення широти.

У цей час промениста енергія Сонця виявляється визначальною в іонізації

Земної атмосфери. В інші пори року внесок корпускулярної іонізації Земної атмосфери стає особливо помітним.

Сигнали супутникових радіонавігаційних систем, що передаються в частотному діапазоні 1000-1600 МГц, можуть відчувати аномальне розсіювання у високоширотній іоносфері в області висот 200-500 км [2].

Процес розсіювання обумовлений ефективним взаємодіям радіохвиль з інтенсивними іонно-звуковими коливаннями, які генеруються в області неізометричності плазми, що виникає через наявність поздовжніх стаціонарних електричних струмів та нагрівання плазми в системі «іоносфера-плазмосфера» за рахунок дисіпації енергії кільцевого. Наслідками цього процесу можуть бути зменшення інтенсивності корисного сигналу та невизначеність положення джерела сигналу для приймача.

Вивчаючи дані, отримані в ході досліджень [16], можна зробити висновки, що в діапазоні висот 200-500 км у високоширотній іоносфері є область іонно-звукової турбулентності, в якій можуть відчувати аномальне розсіювання сигнали супутникових радіонавігаційних систем, що передаються в частотному діапазоні 10 МГц.

При цьому відбувається збільшення похибки визначення псевдодальності, обумовлене тим, що кожна точка зони іонно-звукової турбулентності може, за рахунок розсіювання вихідного сигналу, випромінювати сигнал, подібний до супутникового сигналу СНС.

Більш того, при розсіюванні випромінюваного навігаційним супутником сигналу на іонно-звуковій турбулентності відбувається зміна напрямку хвильового вектора на великі кути, що може призвести до повної втрати приймачем сигналу СНС, тобто до порушення функціонування супутникової системи навігації. Розгляд особливості зони високих широт призводить до висновку, що джерелами іонізації іоносфери для цієї області є як променисте, так і корпускулярне випромінювання Сонця, причому внесок кожної складової залежно від широти, доби, пори року різний.

Канал передачі диференціальних поправок схильний до впливу одночасно кількох типів різних чинників, що зрештою призводить до зниження його надійності у високих широтах.

Тропосферна складова похибки вимірів обумовлена наявністю тропосферної рефракції. Затримка сигналу в тропосфері може досягати від 8 до 80 нс, що відповідає похибці вимірювання псевдодальності від 2,4 до 24 м. Тропосферна складова похибки вимірювання псевдодальності складається з двох компонентів: перша визначається впливом сухої атмосфери, друга залежить від вмісту водяної пари в атмосфері [28]:

$$T = T_d + T_w, \quad (2.5)$$

T_d – похибка за рахунок впливу сухої атмосфери;

T_w – похибка за рахунок наявності водяної пари в атмосфері.

Модель тропосфери:

$$T = \frac{0,002277}{\cos z} \left(p + \left(\frac{1255}{t} + 0,05 \right) e - t g^2 z \right) \quad (2.6)$$

де T – затримка сигналу в тропосфері, м;

z – зенітний кут, град;

p – атмосферний тиск, мегабайт;

t – температура, К;

e – парціанальний тиск, мегабайт.

Похибка апаратури споживача.

Наступним по порядку проходження сигналу джерелом далекомірних похибок вважається схема прийомоіндикатора. Основним джерелом похибок є схеми стеження за затримкою огинаючої та несучої сигналу. Прийнято розрізняти шумові та динамічні похибки. Огинаючою сигналу НКА є двійкові параметри системи передач (ПСП). Шумова похибка некогерентної схеми стеження за затримкою ПСП має СКС [18], подане такою формулою:

$$\sigma = \tau_s \sqrt{\frac{B_t}{P/N_0} + \frac{B_t B_r}{(P/N_0)^2}} \tau_s \sqrt{\frac{B_t}{P/N_0} + \frac{B_t B_r}{(P/N_0)^2}}$$

(2.7)

де S – тривалість елементарного символу ПСП;

B_t – одностороння ширина смуги пропускання схеми стеження за затримкою;

B_r – одностороння ширина смуги пропускання тракту проміжної частоти;

P/N_0 – відношення потужності сигналу до спектральної густини шуму на вході приймача.

У цьому діапазон похибок оцінювання псевдодальності становить 0,5...30 м, а псевдошвидкості – 0,1...10 м/с. Дані похибки зумовлені внутрішнім шумом приймача та динамікою руху споживача. Крім даних джерел похибок, у приймачі є ще одне джерело похибок оцінювання псевдодальності та псевдошвидкості – опорний генератор. На характеристики стежачих систем приймача впливає короткочасна нестабільність частоти. Нестабільність частоти опорного генератора (ОГ) призводить до нестабільності шкали часу приймача та флуктуації фази ОГ.

Також на точність визначення просторово-часових координат споживача впливає взаємне розташування навігаційних супутника і споживача. Отже, виникає завдання вибору оптимального робочого сузір'я супутників, у якому забезпечуватиметься задана точність вимірів. Існує таке поняття, як коефіцієнт геометрії K_G, K_G' , є мірою зменшення точності навігаційних визначень через особливості взаємного розташування навігаційного супутника та споживача (в іноземній літературі використовується позначення GDOP – в англійській літературі ця величина називається Geometric Dilution of Precision).[14]

Коефіцієнт геометрії чисельно визначається для випадку, коли похибки визначення псевдодальностей до чотирьох супутників рівновеликі і не кореловані. У загальному випадку його можна уявити виразом

$$K_g = \frac{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2]^{\frac{1}{2}}}{\sigma_D} K_g = \frac{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2]^{\frac{1}{2}}}{\sigma_D}$$

(2.8)

Вираз може бути записаний в іншому вигляді:

$$K_G^2 = K_{GP}^2 + K_{GT}^2 K_G^2 = K_{GP}^2 + K_{GT}^2$$

(2.9)

де $K_{GP} = K_{GP} = \frac{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2]^{\frac{1}{2}} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2]^{\frac{1}{2}}}{\sigma_D}$ – просторовий (PDOP – PositionDilution of Precision) коефіцієнт;

$$K_{GP} = \frac{\sigma_t}{\sigma_D} K_{GP} = \frac{\sigma_t}{\sigma_D}$$

– тимчасовий (TDOP – Time Dilution of Precision).

У свою чергу, просторовий коефіцієнт може бути розбитий на складові, що характеризують точність визначення координат споживача у горизонтальній та вертикальній площинах:

$$K_{GP}^2 = K_{GH}^2 + K_{GV}^2$$

(2.10)

де $K_{GH} = \frac{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2]^{\frac{1}{2}}}{\sigma_D} K_{GH} = \frac{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2]^{\frac{1}{2}}}{\sigma_D}$ – горизонтальний (HDOP HorizontalDilution of Precision) коефіцієнт.

$K_{GV} = \frac{\sigma_z}{\sigma_D} K_{GV} = \frac{\sigma_z}{\sigma_D}$ – вертикальний (VDOP VerticalDilution of Precision) коефіцієнт.

Геометричні співвідношення, що характеризуються положенням супутників щодо один одного, можуть впливати на наявність похибки супутникових вимірів.

Ці дані можна використовувати для оцінки точності визначення координат розташування споживача в горизонтальній (режим двовимірних вимірів або 2-D) та вертикальній площинах, у тривимірному просторі (режим тривимірних вимірів або 3-D) і т. д. Так, використовуючи потенційне значення сумарної похибки визначення псевдодальності, можна розрахувати потенційну похибку визначення просторового становища (сферична помилка) споживача, наприклад, для

чотирьох СР:

$$\sigma_{\text{сфер}} = KGR_{\text{сдав}} = 15,2 \text{ м.}$$

Аналогічні помилки отримують щодо координат споживача в горизонтальній площині і за висотою:

$$\sigma_{\text{гор.пот}} = KGH_{\text{сдав}} = 8,7 \text{ м,}$$

$$\sigma_{\text{вер.пот}} = KGV_{\text{сдав}} = 12,4 \text{ м}$$

Суть у тому, що залежно від взаємного розташування супутників на небосовді геометричні співвідношення, якими характеризуються ці розташування, можуть збільшувати або зменшувати всі невизначеності. Геометричний фактор зниження точності є індикатором надійності уявлення точності позиціонування. У випадку, якщо супутники коду розташовані на небесній сфері досить широко (сильна геометрія), шукане положення може знаходитися в межах заштрихованої області, і межі можливої помилки малі. Іншими словами, що більший кут між напрямками на супутники, то точніше місцевизначення.

У таблиці 2.1 вказано значення DOP та його характеристики точності

Таблиця 2.1

Значення DOP та характеристики точності

Значення DOP	Точність	Опис
<1	Ідеальна	Рекомендується до використання в системах, що вимагають максимально можливої точності під час їх роботи
2-3	Відмінна	Достатня точність для використання результатів вимірювань у досить чутливій апаратурі та програмах
4-6	Гарна	Рекомендований мінімум для ухвалення рішень за отриманими результатами. Результати можуть бути використані для точних навігаційних вказівок.

7-8	Середня	Результати можна використовувати у обчисленнях, проте рекомендується подбати про підвищення точності, наприклад, вийти на відкрите місце.
9-20	Нижче середнього	Результати можуть використовуватися тільки для грубого наближення визначення місця розташування
21-50	Погана	Зазвичай такі результати мають бути відкинуті.

Підсумовуючи аналіз похибок визначення псевдодальності та псевдошвидкості, виявлено, що іоносферна та тропосферна похибка має систематичну та випадкову складові (математичне очікування та сигма). Математичне очікування не можна ігнорувати, і воно не підсумовується як дисперсія. Тому дисперсія загальної помилки окреслюється як сума дисперсій окремих складових.

○ 2.3 Математичне забезпечення розподільної комп'ютерної системи

На даний момент існують дві концепції впровадження у єдиний повітряний простір БЛА [11]. Одна з них передбачає поширення на БЛА всіх існуючих норм, включаючи, наприклад, оснащення системами розпізнавання та попередження зіткнень. Друга концепція пропонує виділяти для польотів БЛА спеціальні зони.

Стрімке збільшення кількості літальних апаратів у загальному повітряному просторі безпосередньо впливає на безпеку використання повітряного простору та призводить до можливого збільшення кількості авіакатастроф. Авіакатастрофа є лише завершальною фазою процесу, що призвело до зіткнення ПС із землею, перешкодою або іншим ПС, це, як правило, результат випадкового накладання або поєднання кількох порушень, кожне з яких окремо, можливо, і не призвело б до трагічного фіналу.

До небезпек, що мають найбільший вплив на ефективність та безпеку застосування БЛА в загальному повітряному просторі, відносяться:

- руйнування БЛА при зіткненні із землею,
- нанесення шкоди життю та здоров'ю людині,
- зіткнення в повітрі з іншими літальними апаратами.

Друга небезпека поки не становить серйозної загрози, проте зростання максимальної злітної маси БЛА, швидкості польоту та застосування у місцях масового скупчення людей збільшать ризики. Ненавмисне завдання шкоди життю та здоров'ю людей та майну на землі може статися в основному через втрату керованості та збоїв у передачі даних.

З метою стимулювання модернізації конструкції потрібно розробити норми льотної придатності для БЛА, які становлять реальну небезпеку. Встановити процедури сертифікації конструкції БЛА, аналогічні для пілотованих ПС.

Третя загроза є наслідком «сліпоті» БЛА, так як на його борту немає людини, а системи телеспостереження та лінії передачі даних поки що не дозволяють побачити літальний апарат, а реалізувати експлуатацію за правилами візуальних польотів дуже складно. Ця проблема не існує при виконанні польотів за правилами польотів по приладах (ППП). В результаті польоти за правилами візуальних польотів можуть виконуватися тільки в спеціальному виділеному повітряному просторі, що різко знижує ефективність і привабливість використання БЛА.

Одним із найпоширеніших порушень, що завершуються тяжкою авіаційною подією, є недотримання норм ешелонування [22], що призводить до небезпечних зближень. На щастя, не завжди небезпечне зближення ПС призводить до катастрофи. Ситуація, що призводить до порушення норм ешелонування, якщо не змінити просторово-часові траєкторії ПС, що беруть участь у ній, називається потенційно конфліктною ситуацією (ПКС). Якщо ПКС

виявлено заздалегідь, можна усунути небезпеку переходу ПКС у критичну ситуацію, своєчасно вживши необхідних заходів.

Потенційна конфліктна ситуація між пілотованим ПС та БЛА або між двома БЛА виявляється на підставі прогнозу їхнього руху.

Прогнозування ПКС у горизонтальній площині:

Керований рух повітряного судна в горизонтальній площині описується стандартизованою для навігаційних розрахунків, системою звичайних рівнянь [11]:

$$\begin{aligned} x'x' = V_x = X \cos \Psi, \quad z' = V_z = V \sin \Psi, \quad \Psi' = \frac{\beta}{V}, \quad |\beta(t)| \leq \beta_{\max} \\ V_x = X \cos \Psi, \quad z' = V_z = V \sin \Psi, \quad \Psi' = \frac{\beta}{V}, \quad |\beta(t)| \leq \beta_{\max} \end{aligned} \quad (2.11)$$

де, x' – похідна координати положення ПС по осі ОХ (спрямована на північ);

z' – похідна координати положення ПС по осі ОZ (спрямована на схід);

Ψ' – похідна колійного кута, кут відраховується за годинниковою стрілкою від осі ОХ;

β – управління ПС, бічне прискорення із заданим (за модулем) обмеженням β_{\max} ;

V – швидкість НД.

У парі для кожного ПС задані величини $\beta_{1\max}$, $\beta_{2\max}$, V_1 , і V_2 , причому швидкості їх руху є постійними. Відповідно до правил і нормативних документів задається величина допустимої відстані R_s між ПС.

Для простоти опису алгоритмів використовуємо таку умовну систему координат (рис. 2.4). Умовно вважається, що НД із меншою швидкістю завжди має номер 1 і рухається на Північ по осі своєї траси, напрямок якої завжди задається як $\Psi_1 T_r = \Psi_1 = 0$. ЛА з більшою швидкістю руху завжди надано номер 2, його траса перетинає трасу руху ПС 1 і має напрямок $\Psi_2 T_r = \Psi_r$.

У цій системі координат початковий момент $t_0=0$ задано також початкові позиції першого x_{10} , z_{10} і другого x_{20} , z_{20} ПС. У момент T_p найбільшого зближення ПС у прогнозі відзначаються такі параметри ПКС:

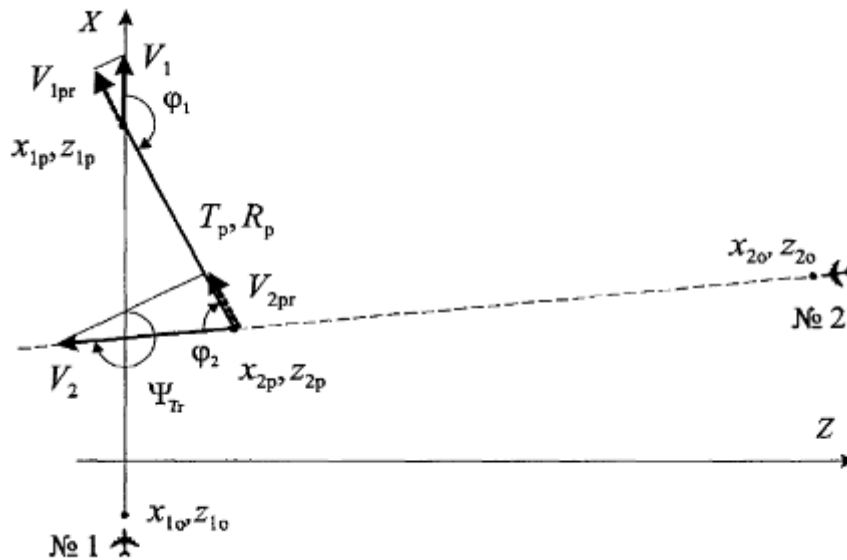


Рис. 2.5. Система координат

де x_{p1}, z_{p1} , і x_{2p}, z_{2p} – позиції ПС, жирною лінією показаний вектор R_p щодо відстані (лінії візування) між ними, кути орієнтації ϕ_1 і ϕ_2 цього вектора щодо осей трас. Жирні суцільні стрілки відзначають вектора швидкостей V_1 і V_2 руху НД; Довжини стрілок умовно відбивають величини цих швидкостей. Вектори V_{1pr} та V_{2pr} (жирні пунктирні стрілки) показують проекції відповідних швидкостей ПС на лінію візування 1-2. На момент настання потенційно конфліктної ситуації $V_{1pr} - V_{2pr} = 0$, тобто похідна відстані між ПС дорівнює нулю.

У прийнятій моделі рівномірного руху ПС момент T_p найбільшого зближення та настання можливого потенційного конфлікту збігається з моментом рівності похідної нулю $R' = 0$ їх відносного руху $R(t)$. Розрахунок цього моменту виконується за такою формулою [11]:

$$T_p = \frac{-((x_{20} - x_{10})(V_2 \cos \Psi_{Tr} - V_1) + Z_{20} V_2 \sin \Psi_{Tr})}{(V_2 \cos \Psi_{Tr} - V_1)^2 + V_2^2 \sin^2 \Psi_{Tr}} \quad (2.12)$$

Розрахунок параметрів найгіршого зближення:
стан ПС:

$$x_{1p} = x_{10} + V_1 T_p, z_{1p} = 0 \quad (2.13)$$

$$x_{2p} = x_{20} + V_2 T_p \cos \Psi_{Tr}, z_{2p} = z_{20} + V_2 T_p \sin \Psi_{Tr}; \quad (2.14)$$

мінімальна відстань R_p

$$R_p = \sqrt{(x_{2p} - x_{1p})^2 + (z_{2p} - z_{1p})^2} \quad (2.15)$$

допоміжний кут ϕ_1 :

$$\pi - \arctg\left(\frac{z_{2p}}{x_{2p} - x_{1p}}\right), \text{ якщо } x_{1p} > x_{2p}; z_{2p} > 0 \quad (2.16)$$

$$\pi - \arctg\left(\frac{z_{2p}}{x_{2p} - x_{1p}}\right), \text{ якщо } x_{1p} > x_{2p}; z_{2p} < 0 \quad (2.17)$$

допоміжний кут ϕ

$$\arctg\left(\frac{z_{2p}}{x_{2p} - x_{1p}}\right), \text{ якщо } x_{1p} > x_{2p}; z_{2p} > 0 \quad (2.18)$$

$$2\pi + \arctg\left(\frac{z_{2p}}{x_{2p} - x_{1p}}\right), \text{ якщо } x_{1p} < x_{2p}; z_{2p} < 0 \quad (2.19)$$

точка перетину трас

$$x_{Tr} = \frac{x_{20} - z_{20}}{\operatorname{tg} \Psi_{Tr}}, z_r T_r = 0 \quad (2.20)$$

Далі перевіряється основна умова:

Якщо $R_p \geq R_s$, то ПКС відсутнє; інакше, потенційний конфлікт виявлено.

З прогнозу вибирається схема вирішального маневру, і розраховуються його параметри[11]. Маневр з побудови гарантовано забезпечує необхідну безпечну відстань на всьому інтервалі часу зближення та розбіжності літаків. Вимоги до маневру:

- дозвіл ПКС має виконуватися маневром тільки одного ПС з потенційно конфліктуєчою пари, якщо потенційно конфліктна ситуація виникла між пілотованим ПС і БЛА, маневр повинен виконати безпілотний літальний апарат. Маневр, який дозволяє ПКС, що з'явилася у вертикальній площині, може виконуватися як у вертикальній, так і горизонтальній площині;

- маневру наказується «S – подібна» структура; він повинен складатися з ділянки активного «ухилення», що забезпечує безпечну відстань, ділянки

прямолінійного руху – «витримування» – при розбіжності (тут задається часовий інтервал прямолінійного руху з постійною колією і з постійною швидкістю), і ділянка маневру повернення ПС на його вісь первісної траси;

➤ для виключення наведення додаткових ПКС маневр загалом повинен забезпечуватись на мінімально необхідному бічному відхиленні маневруючого ПС від його траси;

➤ маневр загалом повинен мати мінімальну тривалість і, як наслідок, ділянки відхилення та повернення повинні виконуватися за мінімальний час на максимально допустимій величині управління, причому точка початку маневру ухилення має бути «не надто далеко» від зони потенційного конфлікту;

➤ аналіз та виявлення можливої ПКС виконується періодично і починається заздалегідь (тобто із запасом по відстані та часу) за таких початкових позиціях ПС, з яких дозвільний маневр гарантовано виконується із запасом.

Для прогнозування ПКС та розрахунку маневру щодо уникнення небезпечного зближення БЛА повинні бути обладнані високоточним навігаційним обладнанням.

Для надання рекомендацій щодо організації експлуатації БЛА державними органами та незалежними організаціями створено низку комісій, комітетів та груп з вивчення безпілотних літальних систем.

Вважається, що вимоги до процесу експлуатації БЛА у загальному повітряному просторі мають ґрунтуватися на таких основних принципах:

– не повинно бути обмежень на доступ БЛА до єдиного повітряного простору;

– повинна забезпечуватися безпека польотів користувачів єдиного повітряного простору та безпека населення на рівні, що відповідає вимогам безпеки польотів ПС;

– не повинні пред'являтися вимоги дообладнання ПС додатковими системами з метою сумісності з БЛА;

- БЛА повинні мати систему, що дозволяє надійно відстежувати та уникати потенційно конфліктних ситуацій з ПС;
- здійснення польотів БЛА слід виконувати за тими самими правилами, що і для ПС.

Для реалізації цих принципів передбачається вирішити низку завдань:

- 1) Визначити процедури безпечної експлуатації БЛА.
- 2) Встановити вимоги щодо порядку використання повітряного простору БЛА.
- 3) Розробити методика вирішення ПКС між БЛА та ПС у загальному повітряному просторі.

Низка країн розпочала вирішення перелічених вище завдань, Франція, Італія, Німеччина та Швеція розвивають свої національні програми із забезпечення безпеки польотів БЛА.

Поки що США та Канада впровадили у практику виконання міжнародних польотів цивільних БЛА над відкритим морем у зоні відповідальності держави або за межами повітряного простору, зарезервованого для БЛА. До них віднесено: метеорологічні дослідження, аерофотозйомка, кінозйомка, геофізичні спостереження.

Відповідно до зазначених вище принципів слід, що з погляду організації повітряного руху (ОрПР) управляти БЛА слід як і, як будь-якими іншими повітряними суднами. В принципі, авіадиспетчер не повинен цікавитися, яке саме судно він спостерігає. Тому система навігації та управління БЛА повинна відповідати міжнародним вимогам, які застосовуються до пілотованих літальних апаратів.

Інерційна навігаційна система забезпечує безперервне вироблення інформації про курс, координати, швидкість руху і параметри кутової орієнтації платформи, на якій встановлено ІНС [5-13, 26]. Як відомо, інерційні навігаційні системи дозволяють отримувати всю сукупність необхідних параметрів керування об'єктом, включаючи кути орієнтації. У цьому системи повністю

автономні, тобто для їх нормального функціонування не потрібно використання будь-якої інформації від інших систем, за винятком початку роботи, коли потрібно встановити початкові умови за координатами та проекціями швидкості.

Режим (алгоритм) роботи СЦЗКПП, коли її елементи та пристрої ідеальні (не мають інструментальних похибок) та початкові умови функціонування системи точно відповідають початковим обставинам руху об'єкта, називають режимом (алгоритмом) ідеальної роботи. У реальних умовах інерційним чутливим елементам притаманні різноманітні похибки.

Режим роботи СЦЗКПП, у якому її елементи функціонують з похибками і початкові умови відповідають початковим обставинам руху об'єкта називають обуренням.

Рівняння для відхилення змінних, що характеризують стани системи, від їх значень при ідеальній роботі називають рівнянням похибок [31]. Аналізуючи похибки, можна певною мірою спростити алгоритми, якими працює обчислювальний пристрій, і навіть виробити обґрунтовані вимоги до корекції СЦЗКПП.

Помилки СЦЗКПП у разі неточного визначення вертикалі.

Розглянемо випадок, коли акселерометри та гіроскопи функціонують без помилок, а вертикаль у початковий момент задана з помилкою. У цьому випадку безпомилкові показання акселерометрів визначаються рівностями [30] (передбачається, що:

$$V_{Yg} \dot{=} 0$$

$$\begin{cases} n_x = \dot{V}_{Xg} \cos\theta + g \sin\theta \\ n_y = g \cos\theta - \dot{V}_{Xg} \sin\theta \end{cases} \begin{cases} n_x = \dot{V}_{Xg} \cos\theta + g \sin\theta \\ n_y = g \cos\theta - \dot{V}_{Xg} \sin\theta \end{cases}$$

(2.21)

де n_x, n_y – величина прискорення, що здається, щодо осей x і y ,

V_{Xg} – швидкість,

θ – кут.

Для визначення розташування БЛА (широти φ) необхідно перепроєктувати

показання акселерометрів (2.21) географічну систему координат, тобто на осі O^{X_g} X_g і $O^{Y_g} \cdot Y_g$. Однак за рахунок неточного завдання вертикалі сигнали акселерометрів (2.21) перераховуватимуться не на осі географічного тригранника, а на осі $\overline{O^{X_g}} \overline{O^{X_g}}$ і $\overline{O^{Y_g}} \overline{O^{Y_g}}$ обчисленої системи координат. В цьому випадку отримаємо:

$$\begin{aligned} n_{\overline{X_g}} &= n_x \cos(\theta - \beta) - n_x \cos(\theta - \beta) \\ n_{\overline{Y_g}} &= n_x \cos(\theta - \beta) - n_x \cos(\theta - \beta) \end{aligned} \quad (2.22)$$

де $n_{\overline{X_g}} n_{\overline{Y_g}}$ – проекція прискорення, що здається, на географічну систему координат,

β – кут.

Для малого кута β , підставивши (2.22) в (2.21), отримаємо проекцію прискорення, що здається:

$$\begin{aligned} n_{\overline{X_g}} &= \dot{V}_{X_g} + g\beta n_{\overline{X_g}} = \dot{V}_{X_g} + g\beta. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Таким чином, після перерахунку даних в географічну систему координат у проекції прискорення, що здається $n_{\overline{X_g}} n_{\overline{Y_g}}$ міститься складова вектора прискорення сили тяжіння.

Згідно з подальшими розрахунками [31]

$$\beta(t) = \beta_0 \cos \omega_0 t - \beta_0 \cos \omega_0 t \quad (2.24)$$

де β_0 – похибка побудови вертикалі у початковий момент часу;

ω_0 – частота Шулера.

Цю частоту можна трактувати, як частоту малих незагасаючих коливань у полі сили тяжіння Землі фізичного маятника, наведена довжина якого дорівнює відстані від центру Землі до об'єкта, що рухається на висоті h . Числове значення частоти Шулера дорівнює

$\omega_0 = 1,24 * 10^{-3} \text{ рад/с}$ $\omega_0 = 1,24 * 10^{-3} \text{ рад/с}$ відповідно період Шулера $T = 84,4$.

З рішення випливає, що обчислена вертикаль здійснюватиме коливання щодо справжньої вертикалі з періодом Шулера.

Відповідно до розрахунків [31], помилки визначення швидкості пов'язані з помилкою побудови вертикалі.

$$\Delta V_{Xg} = \frac{\beta_0 g}{\omega_0} \sin \omega_0 t \Delta V_{Xg} = \frac{\beta_0 g}{\omega_0} \sin \omega_0 t$$

(2.25)

Помилка визначення широти:

$$\Delta \varphi = \beta_0 (1 - \cos \omega_0 t) \beta_0 (1 - \cos \omega_0 t)$$

(2.26)

Помилка визначення пройденої відстані ΔS :

$$\Delta S = R \beta_0 (1 - \cos \omega_0 t) \beta_0 (1 - \cos \omega_0 t)$$

(2.27)

На рис. 2.6 показані помилки СЦЗКПП, викликані неточним завданням вертикалі, таким чином, відхилення аналітичної вертикалі від істинної, помилки у визначенні швидкості та місцезнаходження БЛА мають коливальний характер, період їх коливання дорівнює періоду Шулера.

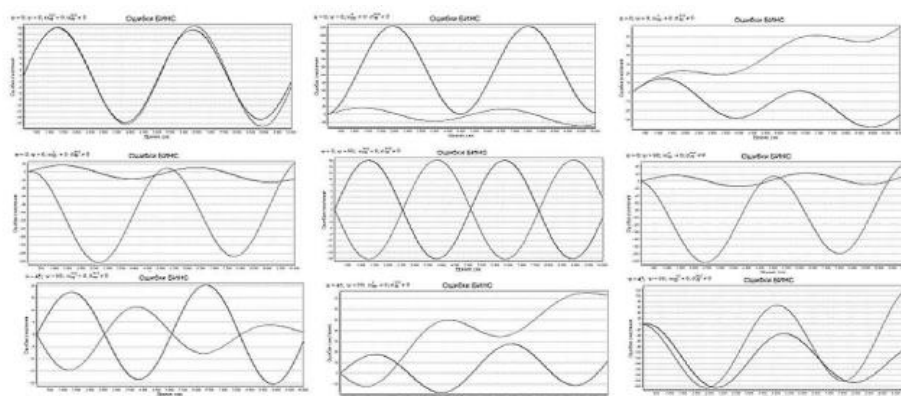


Рис. 2.6. Помилки СЦЗКПП

Нехай у СЦЗКПП початкові умови витримані точно, а показаннях

акселерометрів є похибки (зміщення нуля) $\delta\alpha_x$ та $\delta\alpha_y$. У цьому випадку рівняння (2.21) набудуть вигляду:

$$\begin{cases} n_x = \dot{V}_{Xg} \cos\theta + g \sin\theta + \delta\alpha_x \\ n_y = g \cos\theta - \dot{V}_{Xg} \sin\theta + \delta\alpha_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} n_x = \dot{V}_{Xg} \cos\theta + g \sin\theta + \delta\alpha_x \\ n_y = g \cos\theta - \dot{V}_{Xg} \sin\theta + \delta\alpha_y \end{cases} \quad (2.28)$$

проекцію прискорення, що здається:

$$n_{\bar{x}\bar{g}} = \dot{V}_{Xg} + g\beta + \delta\alpha_{xg} n_{\bar{x}\bar{g}} = \dot{V}_{Xg} + g\beta + \delta\alpha_{xg} \quad (2.29)$$

де $\delta\alpha_{xg} = \delta\alpha_x \cos\theta - \delta\alpha_y \sin\theta$ – проекція помилок акселерометрів на ребро

$$\beta(t) = \frac{\delta\alpha_{xg}}{g} (\cos\omega_0 t - 1) \quad (2.30)$$

З рішення випливає, що похибки акселерометра викликають коливання вертикалі з періодом Шулера щодо зміщеного від істинної вертикалі положення рівноваги на величину $\beta(t) = \frac{\delta\alpha_{xg}}{g}$ амплитуда $\frac{\delta\alpha_{xg}}{g}$ амплитуда коливань дорівнює помилці акселерометра в частці прискорення сили тяжіння $\frac{\delta\alpha_{xg}}{g}$.

Помилка визначення швидкості.

$$\Delta V_{Xg} = \frac{\delta\alpha_{xg}}{\omega_0} \sin\omega_0 t \Delta V_{Xg} = \frac{\delta\alpha_{xg}}{\omega_0} \sin\omega_0 t \quad (2.31)$$

Помилка визначення широти та пройденої відстані:

$$\Delta\varphi = \frac{\delta\alpha_{xg}}{g} (1 - \cos\omega_0 t) \frac{\delta\alpha_{xg}}{g} (1 - \cos\omega_0 t) \quad (2.32)$$

$$\Delta S = \frac{\delta\alpha_{xg}}{\omega_0} (1 - \cos\omega_0 t) \frac{\delta\alpha_{xg}}{\omega_0} (1 - \cos\omega_0 t) \quad (2.33)$$

На рис. показані помилки, викликані похибкою акселерометрів.

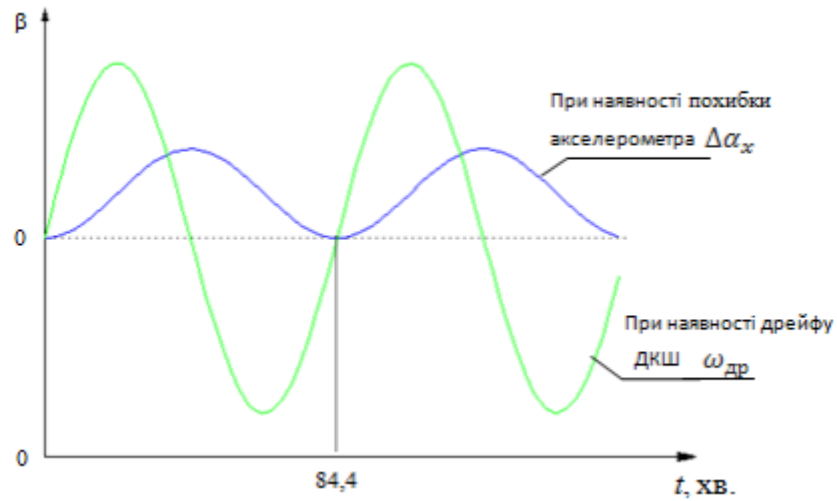


Рис. 2.6. Помилки, викликані похибкою акселерометра

Нехай тепер початкові дані витримані точно, акселерометр працює ідеально, а датчик кутової швидкості вимірює абсолютну кутову швидкість БЛА з помилкою ε . Знайдемо помилку у визначенні тангажу. Тангаж визначається [30], як результат інтегрування щодо кутової швидкості пов'язаного тригранника

$$\theta = \int_0^t (\omega_z - \omega_{z_g}) dt + \theta_0 = \int_0^t (\omega_z - \omega_{z_g}) dt + \theta_0 \quad (2.34)$$

Наявність власного дрейфу гіроскопа приведе до похибки у визначенні проекції абсолютної кутової швидкості пов'язаного та географічного тригранників, відповідно. Розрахункове значення кута тангажу можна представити у вигляді:

$$\tilde{\theta} = \int_0^t (\omega_z + \varepsilon - \tilde{\omega}_{z_g}) dt + \theta_0 \quad (2.35)$$

де $\tilde{\omega}_{z_g}$ – розрахована проекція кутової швидкості географічного тригранника.

Після деяких перетворень [31] отримуємо зв'язок між істинним та обчисленим значенням тангажу

$$\theta - \tilde{\theta} = \beta \quad \text{або} \quad \Delta\theta = \beta \quad (2.36)$$

Таким чином, при одноканальному аналізі помилка тангажу дорівнює помилці побудови вертикалі зі зворотним знаком.

Розглянемо похибки вертикального каналу, спричинені помилкою компенсації прискорення сили тяжіння.

Припустимо, гіроскоп та акселерометри працюють без помилок, а початкові дані введені точно. Відповідно до принципу роботи вертикального каналу знайдемо помилку у визначенні вертикальної швидкості БЛА, як різницю між обчисленою та істинною вертикальною швидкістю

$$\Delta V_{Yg} = \widetilde{V}_{Yg} - \Delta V_{Yg} \Delta V_{Yg} = \widetilde{V}_{Yg} - \Delta V_{Yg} \quad (2.37)$$

З [31] знаходимо:

$$\Delta V_{Yg} = - \int_0^t \Delta g dt \Delta V_{Yg} = - \int_0^t \Delta g dt \quad (2.38)$$

де $\Delta g \Delta g$ – помилка компенсації прискорення сили тяжіння

Очевидно, що помилка у визначенні висоти виглядає так

$$\Delta h = - \frac{\Delta g t^2}{2} \Delta h = - \frac{\Delta g t^2}{2} \quad (2.39)$$

З формул можна зробити висновок, що помилки у визначенні вертикальної швидкості та висоти ростуть необмежено. Безмежне зростання помилок вертикального каналу називається нестійкістю цього каналу.

○ 2.4 Алгоритм роботи системи обробки та зберігання даних у КІС СЦЗКПІ

У разі, коли неможливо отримати навігаційну інформацію від зовнішніх джерел, пропонується проводити корекцію навігаційних систем у вигляді алгоритмів екстраполяції. За допомогою цих алгоритмів здійснюється прогноз

похибок навігаційної системи. Потім спрогнозовані оцінки похибок використовуються у відомих схемах корекції.

Алгоритми компенсації похибок автономних СЦЗКПП за рахунок внутрішніх зв'язків системи широко відомі, застосовуються та детально розроблені. СЦЗКПП, забезпечені подібними алгоритмами, мають залишкові похибки, викликані різними факторами, порівняні з похибками, які обумовлені динамічним дрейфом.

Тому необхідно здійснювати компенсацію динамічних похибок автономної СЦЗКПП та по можливості залишкових похибок після компенсації за допомогою відомих алгоритмів. Таким чином, у випадку, коли завдання передбачає автономний рух ЛА, використовуються методи корекції СЦЗКПП через лише внутрішню інформацію або на основі інформації, отриманої в режимі роботи роботи, що коректується.

Алгоритми прогнозу у додатку до навігаційним системам можна поділити на два види: короткострокові та довгострокові. Короткостроковими називаються прогнози з часом запобігання 10-20% тривалості спостереження. Короткострокове прогнозування похибок СЦЗКПП може бути здійснено на основі моделі, отриманої на останньому етапі роботи СЦЗКПП із зовнішнім джерелом інформації до моменту переходу в автономний режим. При тривалому функціонуванні в умовах значних перешкод або у разі коли польотне завдання передбачає на деякому інтервалі автономну роботу СЦЗКПП, необхідно застосовувати довгостроковий прогноз. Довгостроковий прогноз характеризується часом попередження рівним чи таким, що перевищує час спостереження. Для підвищення точності функціонування СЦЗКПП в автономному режимі необхідно побудувати математичну модель помилок, у попередньому режимі, що коригується, здійснити прогноз помилок і використовувати його у вихідній інформації для компенсації цих помилок. Це завдання доцільно вирішувати алгоритмічним шляхом. Так як цей шлях дозволяє отримати ефект з найменшими часовими та матеріальними витратами,

використовуючи системи сучасного рівня точності.

Найбільш перспективним напрямом синтезу систем управління є симбіоз використання експертних систем, методів самоорганізації, методів прийняття рішень, елементів адаптивного управління та оцінювання, а також алгоритмів формування мети.

При синтезі адаптивних алгоритмів термінального управління поняття «адаптивність»[15] має досить широке значення. Під цим терміном, зокрема, розуміється:

- здатність системи наведення вирішувати певне коло завдань без необхідності доопрацювання бортового програмно-алгоритмічного забезпечення для кожного завдання;

- здатність парировати траєкторні обурення в процесі польоту, спричинені рухом самого БЛА або умовами довкілля (вітровою обстановкою, невизначеністю щільності атмосфери тощо);

- здатність алгоритмів парировати параметричні невизначеності самого БЛА, наприклад, такі як неточності знання, відображеного в польотному завданні, інерційно-масових, конструкторських характеристик БЛА, його рухових установок і т.д.;

- здатність алгоритмів адаптуватися до зміни конструктивно-компонувальної схеми БЛА, аеродинамічних характеристик, допустимих навантажень або модернізації БЛА.

У всіх відносинах адаптивний підхід до побудови систем наведення, заснований на використанні поточної інформації про вектор стану БЛА, параметри зовнішнього середовища, параметри самого БЛА і т.п., найбільш ефективно поєднується з термінальним принципом управління траєкторним рухом БЛА. Принцип термінального управління передбачає використання поточної вимірювальної інформації про траєкторні параметри руху БЛА, а також апріорну інформацію про параметри самого БЛА та параметри навколишнього середовища для формування в польоті нової траєкторії, що задовольняє заданим

кінцевим умовам. Зокрема, адаптивний підхід передбачає уточнення в польоті тієї апріорної інформації, яка використовувалася для формування термінального управління.

Відомий концептуальний підхід до завдання синтезу систем управління із застосуванням компонентів штучного інтелекту (КШІ) на основі теорії функціональних систем, в якій мета функціонування системи задана апріорі. Такі системи можуть бути реалізовані на основі серійних обчислювальних засобів. При штатному режимі польоту БЛА мета функціонування динамічного об'єкта в рамках даної структури не коригується. У той же час, при виникненні нештатної ситуації може виникнути необхідність зміни мети функціонування, що вимагатиме наявності у системі управління з КШІ пристроїв, що виконують функції блоку синтезу мети та блоку мотивації [7].

Процес створення ПК для даного випадку є складною науковою проблемою, що вимагає для свого вирішення нового підходу, об'єднуючи поняття «синтезу» як з'єднання простіших функціональних систем вирішення приватних завдань у єдину систему управління з КШІ, і поняття «системи» як мети синтезу, що полягає у створенні системи управління з технічними характеристиками, що забезпечують необхідні тактико-технічні характеристики (ТТХ) [18].

У якості базової схема управління розглядається двоконтурна схема системи управління з КШІ з контуром управління опорним рухом центру мас і контуром управління щодо опорної траєкторії (рис.2.7).

При синтезі систем управління БЛА використано концепцію, у якій життєдіяльність живих організмів сприймається як постійне і безперервне парірування змін довкілля. У пропонованій СУ з КШІ на підставі інформації про мету, стан зовнішнього середовища функціонування БЛА, а також про прогноз результатів дії проводиться експертна оцінка ситуації та вибір найкращого сценарію дій БЛА.

Управління БЛА здійснюється з урахуванням прийнятого рішення і реалізується у вигляді сукупності заходів різними виконавчими підсистемами.

Результати керування та копії команд використовуються для прогнозування результатів дії. Прогноз може здійснюватися з допомогою моделей, які доцільно одержувати різноманітними методами, наприклад, за допомогою неймереж, самоорганізацією тощо.

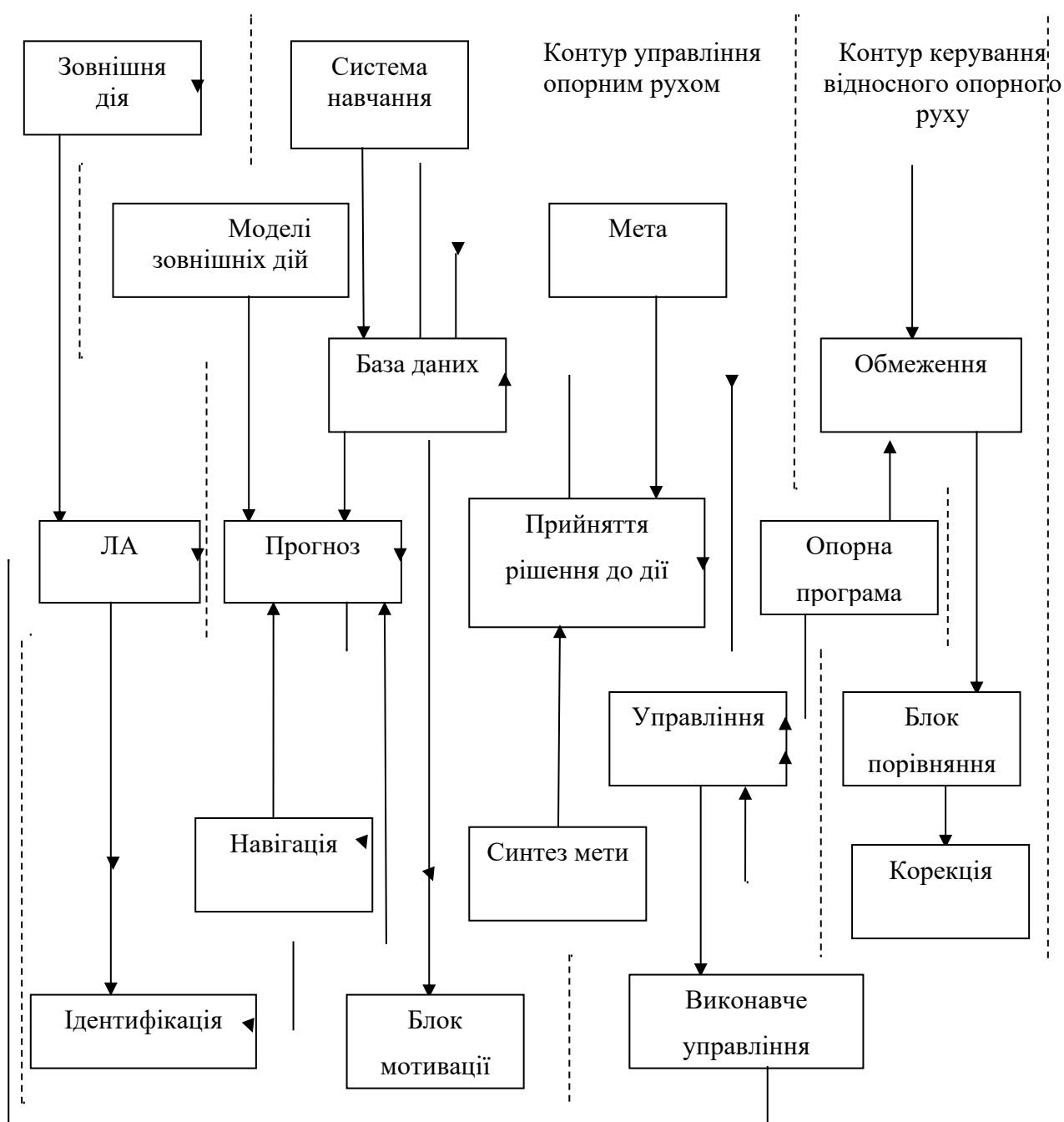


Рис. 2.7. Двоконтурна схема системи управління з КШП

Далі при функціонуванні динамічного об'єкта практичний результат порівнюється з прогнозом та підтверджується правильність його роботи. В іншому випадку коригується керуючий вплив або надається інший сценарій поведінки динамічного об'єкта, що призводить до відповідності прогнозних значень та практичного результату.

У термінах теорії функціональних систем механізм прогнозування та порівняння прогнозу з практичним результатом роботи називається акцептором дії.

Мета функціонування БЛА у досліджуваній СУ задана апріорі та в рамках даної структури системи не коригується. За необхідності зміни мети функціонування БЛА здійснюється розробка нових критеріїв та синтез нових прогнозуючих моделей. В іншому СУ не змінюється. Слід зазначити також інваріантність структури СУ до об'єкта управління, що є її цінною властивістю. Тому викладений підхід до завдання синтезу СУ знайде ширше застосування як при управлінні перспективними БЛА різних ділянках його руху, а й розробки СУ іншими динамічними об'єктами.

СУ БЛА, заснована на представленій схемі, дозволяє заздалегідь вибрати правильний сценарій та отримати підтвердження його правильності. У разі помилкового вибору комплексу заходів з управління БЛА, як тільки з'явиться відхилення від запланованого сценарію, відразу ж інформація про це з блоку оцінки надходить до блоку прийняття рішень, а потім здійснюється вироблення нового комплексу команд.

В акцепторі дії відбувається формування моделі на основі результатів дії, стану БЛА та здійснюється прогноз подальшої зміни параметрів БЛА. Потім, через деякий час, прогноз періодично порівнюється з реальним станом БЛА, і

ситуація оцінюється за допомогою експерта, експертної системи, ансамблю критеріїв або, в тривіальному випадку, одного критерію. На основі цієї інформації приймається рішення щодо подальшого управління БЛА.

Для розробки більш довготривалих сценаріїв функціонування БЛА необхідно враховувати зміни довкілля, які на великих часових інтервалах можуть вносити істотні зміни у процес еволюції руху БЛА. Моделі зміни довкілля можуть бути побудовані емпірично або на основі відомих фізичних принципів, що впливають на стан довкілля. Найбільш прогресивними методами на сучасному етапі розвитку є математичні методи, що відрізняються універсальністю та досить високою точністю. Однак – для отримання високої точності необхідно мати досить багату інформаційну вибірку, в якій міститься інформація про передумови всіх змін довкілля функціонування БЛА.

У практичних додатках без стабільної ситуації досить важко отримати подібну інформаційну вибірку. Тому доцільно використовувати комбінований підхід до побудови моделі довкілля функціонування БЛА. Наприклад, поєднання емпіричного та математичного підходів.

Симбіоз математичного та евристичного підходів до завдання синтезу моделі зовнішнього середовища функціонування БЛА дозволяє використовувати відносно мізерну інформаційну вибірку та за рахунок апріорної інформації суттєво спрощувати трудомісткий процес побудови моделі. Звичайно, передбачається, що апріорна інформація є достовірною.

Побудувавши моделі довкілля функціонування БЛА, з'являється можливість розробляти сценарії управління більш тривалий час [17]. Функціональна схема системи управління БЛА з урахуванням різних моделей зміни довкілля представлена на рис. 2.8.

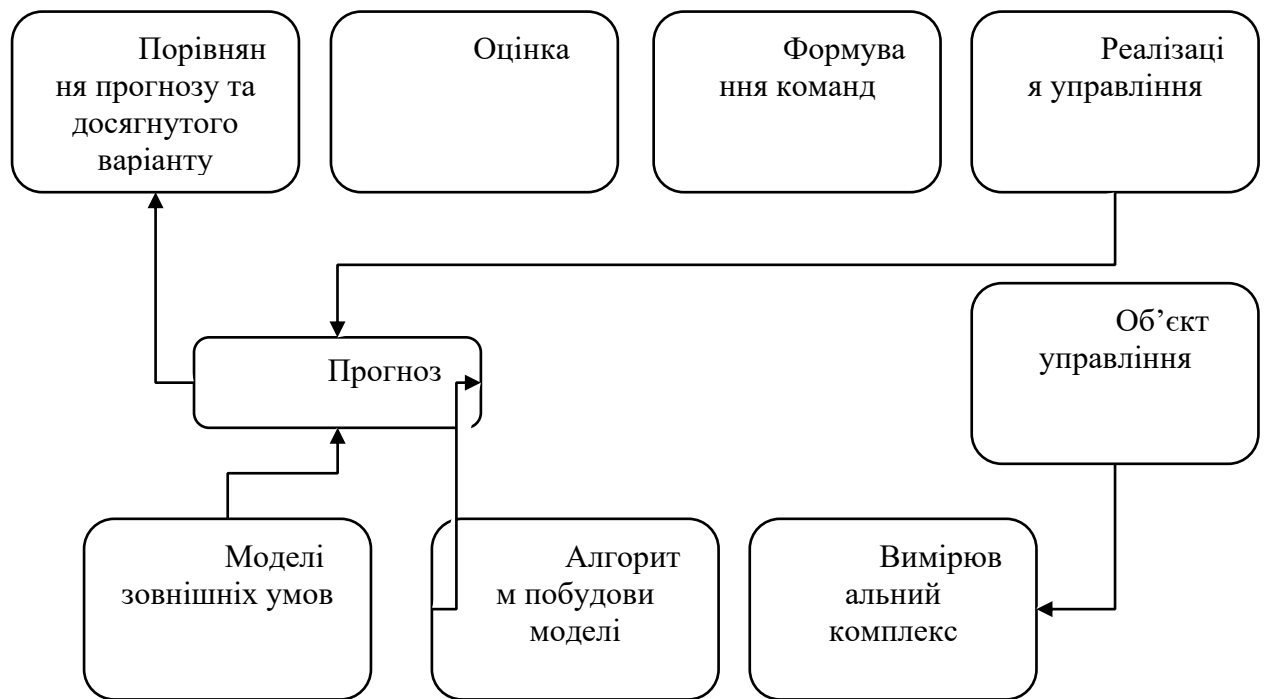


Рис. 2.8. Функціональна схема системи управління з урахуванням моделей довкілля

У наведеній на рис. 2.8 СУ у блоці прогнозу здійснюється прогнозування стану БЛА з урахуванням різних моделей зміни довкілля його функціонування [17]. Декілька варіантів прогнозу періодично порівнюються з реальним станом БЛА та оцінюються відповідно до обраних критеріїв з метою виявлення його оптимального стану і, отже, найкращої стратегії управління.

У цих умовах при синтезі системи управління з КШІ пропонується скористатися концепцією системогенезу. У рамках цієї концепції передбачається послідовне та вибіркоче формування окремих функціональних систем у процесі функціонування ІСУ. У початкових фазах кожного етапу функціонування БЛА основний обсяг пам'яті СЦЗКШІ приділяється синтезу нелінійних моделей, наприклад методом самоорганізації чи генетичним алгоритмом [12, 22].

На наступних фазах проводиться збір інформації про стан об'єкта та довкілля, прогноз варіантів подальшого розвитку подій та вибір оптимального сценарію функціонування БЛА/крилатого блоку. Потім завершальних стадіях кожного етапу реалізація обраної стратегії поведінки, наприклад, траєкторії руху.

Оптимальний сценарій функціонування БЛА крилатих блоків передбачає вибір ансамблю траєкторій руху. Причому вибір траєкторії залежить не тільки від динамічних

параметрів БЛА і стану зовнішнього середовища, включаючи динамічні динамічні об'єкти, але й директивне включення екстремальних траєкторій в ансамблі траєкторій руху крилатих блоків. А, щоб виділити з усіх можливих траєкторій руху крилатого блоку екстремальні, тобто траєкторії, відмінні від оптимальних, але водночас реалізація яких призводить до вирішення поставленого завдання, можна використовувати тренди моделей [16].

При використанні таких структур у СУ необхідно враховувати деякі особливості. Наприклад, необхідно постійно мати адекватну модель, її доводиться будувати заново чи коригувати наявну модель у разі виникнення змін зовнішнього та внутрішнього середовища.

Різні методи прогнозування передбачають застосування тих чи інших методів опису динамічних систем.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

У межах другого розділу розкрито структуру системи управління, визначено складову архітектуру СЦЗКПП та запропоновано алгоритм реалізації. При синтезі систем управління БЛА використано концепцію, у якій життєдіяльність живих організмів сприймається як постійне і безперервне парірування змін довкілля. У пропонуваній СУ з КШІ на підставі інформації про мету, стан зовнішнього середовища функціонування БЛА, а також про прогноз результатів дії проводиться експертна оцінка ситуації та вибір найкращого сценарію дій БЛА. Управління БЛА здійснюється з урахуванням прийнятого рішення і реалізується у вигляді сукупності заходів різними виконавчими підсистемами. Результати керування та копії команд використовуються для прогнозування результатів дії. Прогноз може здійснюватися з допомогою моделей, які доцільно одержувати різноманітними методами, наприклад, за допомогою нейромереж, самоорганізацією тощо.

Далі при функціонуванні динамічного об'єкта практичний результат

порівнюється з прогнозом та підтверджується правильність його роботи. В іншому випадку коригується керуючий вплив або надається інший сценарій поведінки динамічного об'єкта, що призводить до відповідності прогнозних значень та практичного результату.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ У КІС СЦЗКПІ

3.1 Комп'ютерна мережа оцінки ризиків польотів у повітряному просторі

Здійснимо побудову комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі у програмному забезпеченні Cisco Packet Tracer.

За для цього запустимо на ПК програмне забезпечення Cisco Packet Tracer та сформуємо мережу (рис. 3.1)

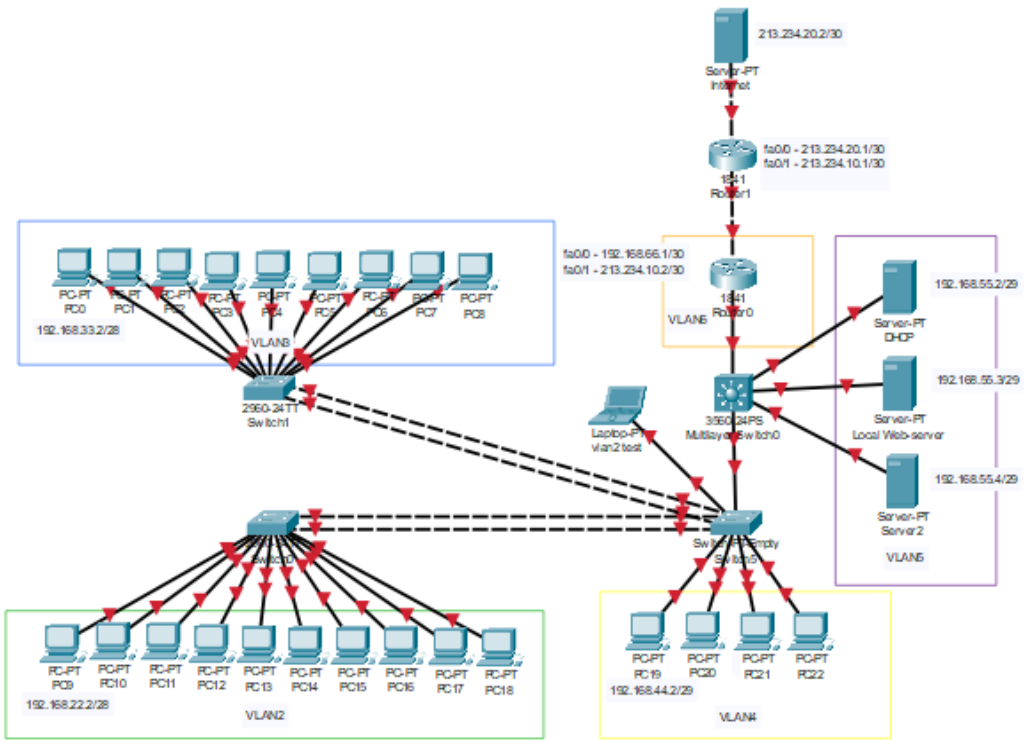


Рис. 3.1. Схема комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі у програмному забезпеченні Cisco Packet Tracer

Мережа складається з компонентів, повний перелік яких наведено на рис. 3.2.

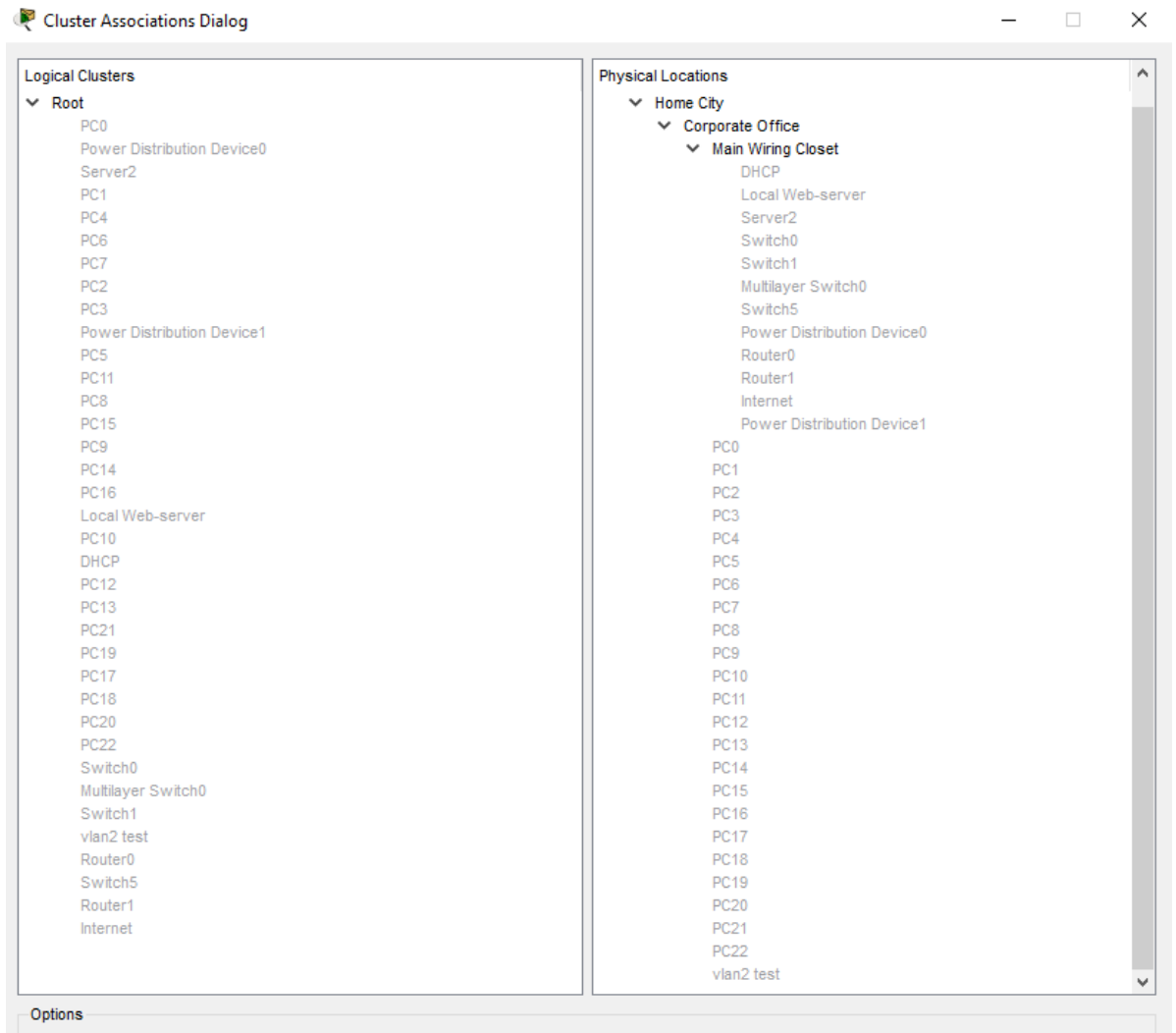


Рис. 3.2. Перелік компонентів мережі Інтернет

Далі здійснимо налаштування комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі за кожним окремим компонентом (рис. 3.3).

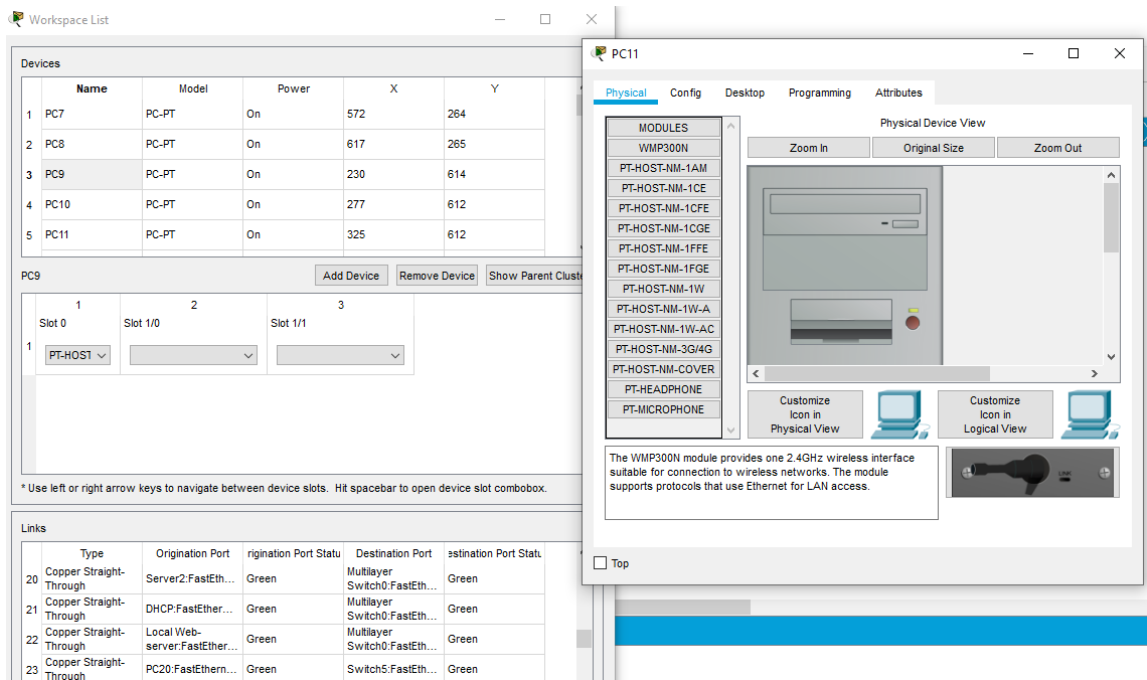


Рис. 3.3. Налаштування компонентів мережі Інтернет

Здійснюємо побудову мережі та її налаштування. Фізична основа мережі наведена на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Фізична мережа

Логічна будова мережі наведена на рис. 3.1.

Після проведення налаштувань кожного окремого елемента здійснюємо тестування комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі (рис. 3.5-3.9)

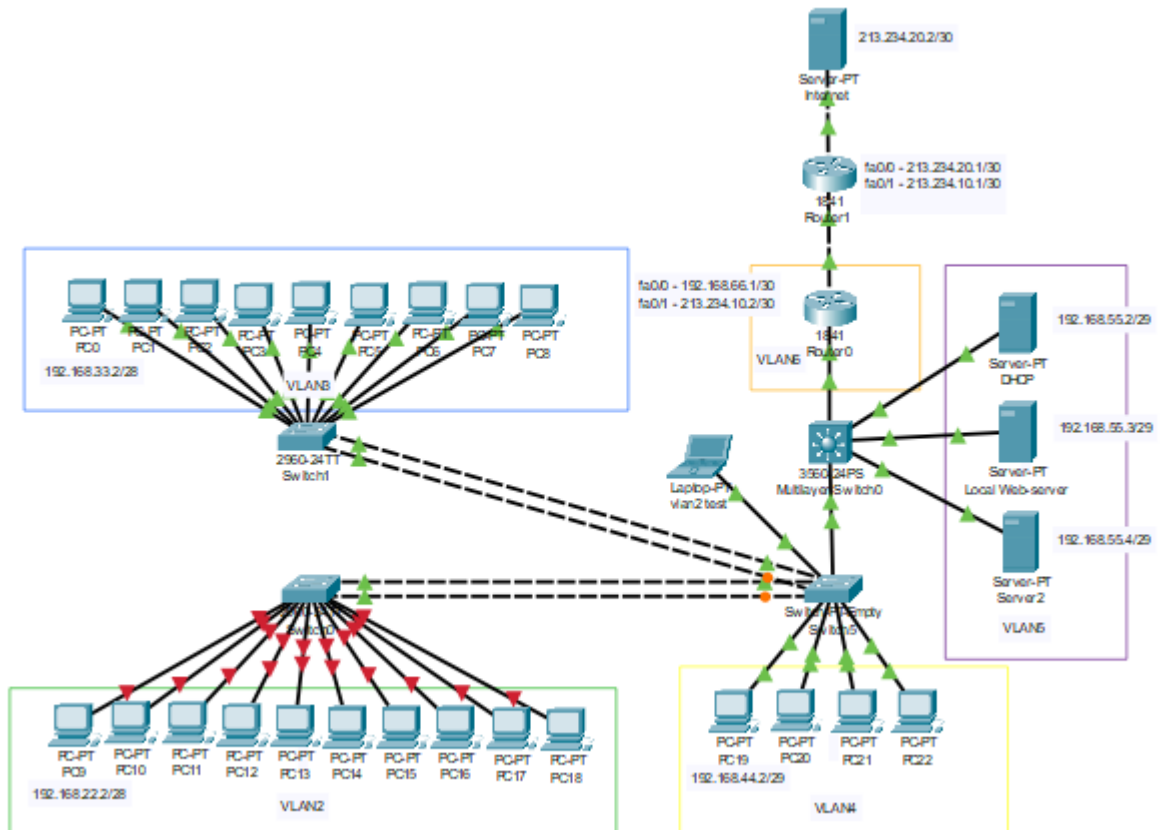


Рис. 3.5. Тестування мережі

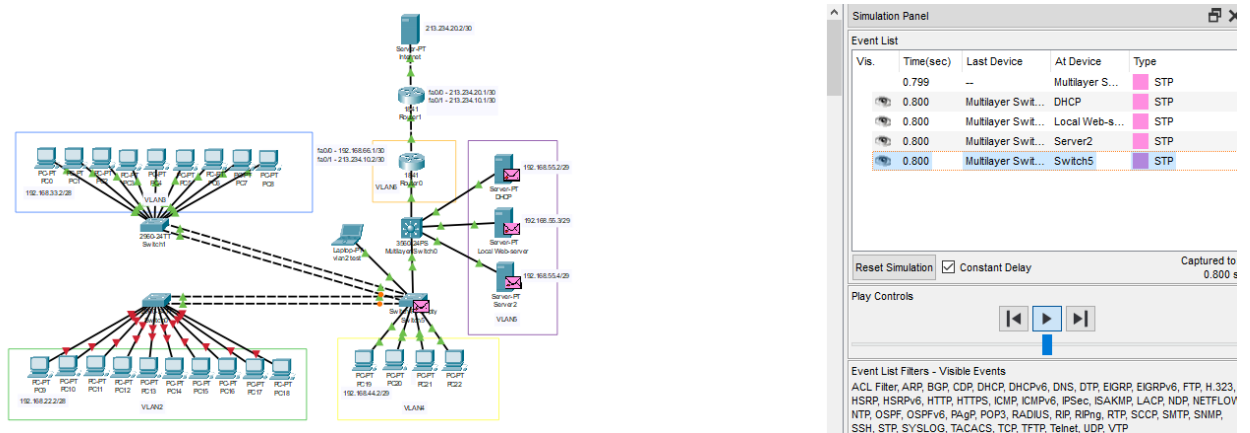


Рис. 3.6. Тестування мережі

Здійснюємо пересилання повідомлень за всіма каналами.

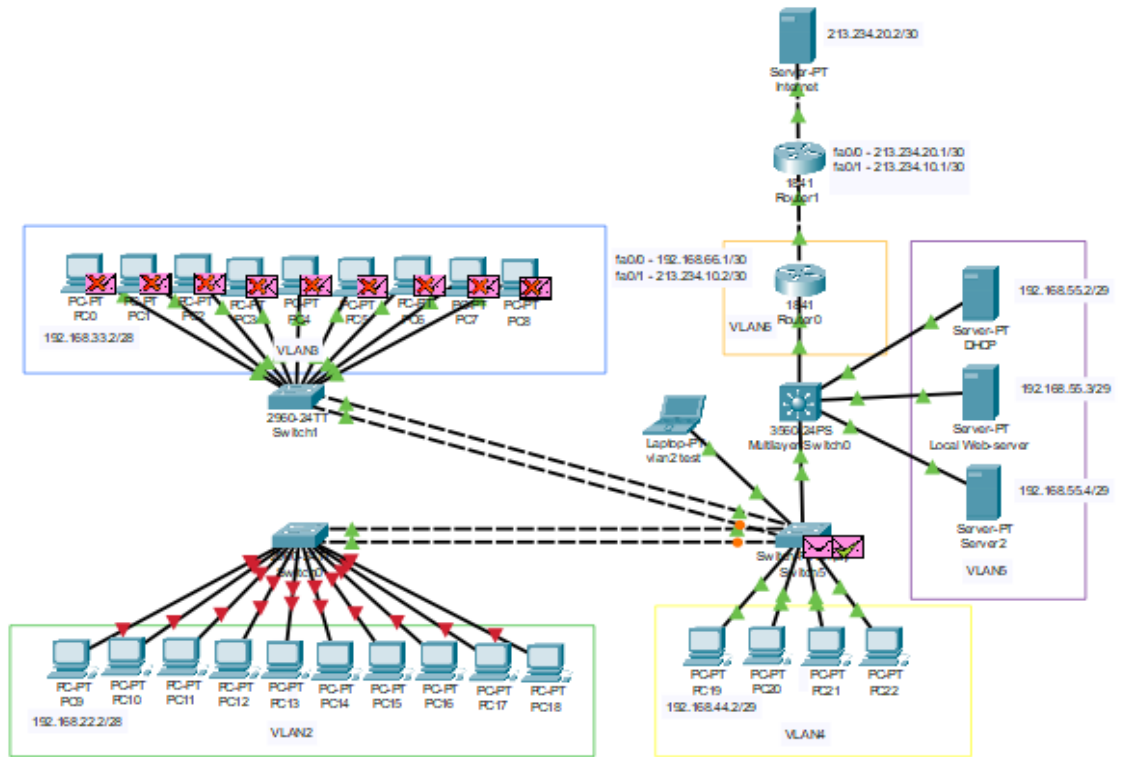


Рис. 3.7. Тестування мережі

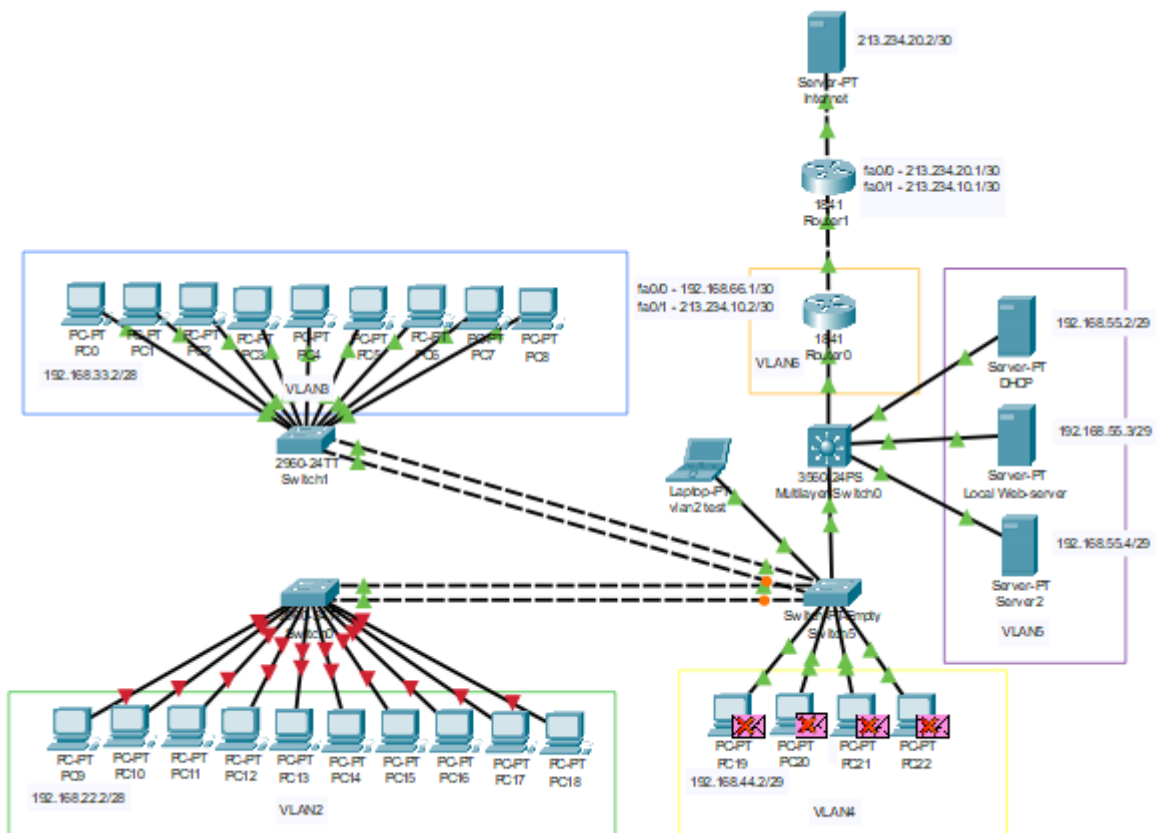


Рис. 3.8. Тестування мережі

Згідно проведеного тестування видно, що мережа працює, пакети надсилаються, є можливість реалізовувати її на базі центру.

○ 3.2 Структура інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП

Для підтримки діяльності з планування та організації використання повітряного простору ситуаційні центри по конфліктним зонам повітряного простору оснащуються спеціальними комплексами засобів автоматизації (КЗА), що включають апаратно-програмні засоби обробки планової, аеронавігаційної, метео та іншої інформації. Структура апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП представлена на рис. 3.9.

Центром будь-якої систем планування є БД, в якій зберігається інформація про плани польотів, обмеження ПП, льотно-технічні характеристики типів БПЛА та інша інформація необхідна для підтримки діяльності з планування повітряного руху. Для забезпечення надійності БД розгортається хоча б двох фізичних серверах з налаштуванням реплікації даних.

Ведення та аналіз даних, що зберігаються в БД, здійснює комплекс спеціально розробленого програмного забезпечення (СПЗ). Даний комплекс СПЗ розгортається на робочих місцях диспетчерського персоналу, а також на серверах додатків та web-сервері. СПЗ, розгорнуте на серверах додатків, здійснює автоматичну обробку даних без втручання диспетчерського персоналу, а web-сервер надає доступ до даних для користувачів, якими можуть бути як користувачі ПП, так і інше СПЗ. СПЗ розгорнуте на робочих місцях надає можливості щодо аналізу та коригування даних, які не вдалося обробити автоматично, а також дозволяє розробляти заходи щодо організації повітряного руху.

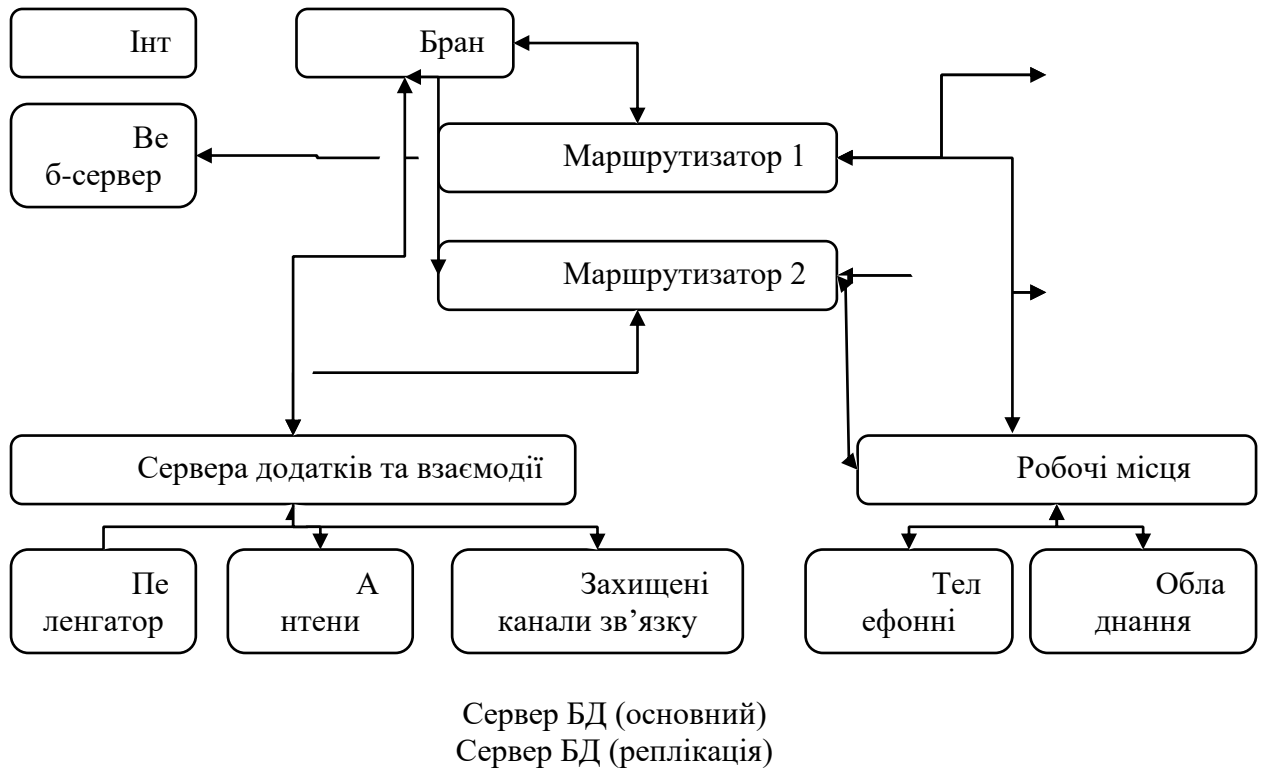


Рис. 3.9. Структура апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПШ

Зв'язок із зовнішніми абонентами здійснюється через канали зв'язку Інтернет, а також захищені канали для зв'язку. Залежно від наявності обладнання апаратно-програмний комплекс може отримувати дані від радіо-пеленгаторів і систем автоматичного залежного спостереження (АЗС). Крім того, на робочих місцях диспетчерів можлива наявність обладнання радіозв'язку.

Програмна складова апаратно-програмних комплексів інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПШ включає системне програмне забезпечення (ОС та СУБД) та спеціальне програмне забезпечення (СПЗ). Під системним СПЗ розуміється програмне забезпечення розроблене на вирішення завдань планування і таке, що встановлюється на автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчерів і сервера додатків.

Особливості СПЗ систем для обробки та візуалізації даних:

- велика різноманітність розв'язуваних завдань (прийом, обробка, аналіз даних, розробка заходів організації та ін);
- одні й ті самі завдання у різних центрах обробки та візуалізації даних можуть вирішуватися по-різному залежно від місцевих особливостей організації взаємодії між службами планування і управління ПП, постачальниками даних, користувачами повітряного простору;
- велика різноманітність необхідних АРМ, проте значна частина виконуваних ними функцій збігається.

Так, наприклад, АРМ планування для верхнього повітряного простору обробляє тільки плани польотів, що здійснюються вище певної висоти польоту, в той час як АРМ планування для позатрасового повітряного простору, обробляє плани польотів, що здійснюються нижче вказаної висоти польоту. З іншого боку, обидва цих АРМ надають диспетчеру можливість перегляду даних про структуру повітряного простору в табличному та графічному вигляді, але забороняють її редагування, оскільки це завдання виконується на автоматизованому робочому місці обробки аеронавігаційної інформації та обмежень використання повітряного простору.

Враховуючи зазначені особливості СПЗ систем обробки та візуалізації даних, при розробці апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП було прийнято рішення будувати архітектуру СПЗ за модульним принципом, таким чином, щоб залежно від заданих налаштувань розроблене СПЗ виконувало функції будь-якого автоматизованого робочого місця.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення являє собою набір сумісних модулів, що здійснюють обробку даних та взаємодію з диспетчером.

Необхідно відзначити, що при розробці програмного забезпечення було вирішено скористатися концепцією «товстого клієнта», за якої БД виступає лише засобом зберігання вихідних даних. Усі функції обробки даних виконуються автоматизованими робочими місцями.

Такий підхід надає наступні переваги:

- простота доопрацювання програмного забезпечення у разі нових вимог, оскільки у більшості випадків не потрібно втручання у роботу БД;
- простота підключення нових джерел даних. Так як всі основні вихідні дані мають власний внутрішній формат уявлення, доступний для використання всім модулям системи, для підключення нового джерела даних достатньо лише створити новий парсер, який розбиратиме дані, що надходять у новому форматі, і створювати об'єкти у внутрішньому форматі системи;
- простота налагодження нових функцій програмного забезпечення, оскільки знижується ймовірність пошкодження вихідних даних в БД.

Процес створення конкретного автоматизованого робочого місця полягає у виборі необхідних модулів, які відповідають вимогам до функціоналу АРМа, і налаштування їх під конкретні умови установки.

В цілому, архітектуру розробленого СПЗ можна розділити на ядро системи (включає основні модулі, що реалізують найбільш важливі і базові функції обробки планових даних), і додаткові модулі, що розширюють функціональність АРМів відповідно до вимог замовників.

До складу основних модулів програмного забезпечення входять:

- модуль опису основних вихідних даних (аеронавігаційна інформація, обмеження ПП, регламенти роботи елементів ПП, повідомлення із заявками на ПП, плани польотів БПЛА та їх просторово-часові траєкторії руху, типи БПЛА та їх льотно-технічні характеристики, дані про адреси, дані про компанії, профілі користувачів (визначають можливості доступу до даних та їх редагування) і т.д.);
- модуль взаємодії з БД – здійснює завантаження вихідних даних із таблиць БД, перевірку наявності змін до завантажених раніше даних, збереження внесених змін у БД;
- модуль обробки повідомлень – виконує лексичний розбір формалізованих повідомлень та визначає порядок їх обробки;

- модуль обробки планів польотів ПП – виконує розрахунок параметрів плану польоту, зокрема просторово-часових траєкторій для зазначених у плані маршрутів. У складі даного модуля було реалізовано запропоновану методику розрахунку просторово-часової траєкторії руху ПП;

- модуль аналізу планів польотів – у складі даного модуля реалізуються функції аналізу планів польотів дотримання правил використання повітряного простору;

- модуль обробки обмежень ПП – надає необхідні функції по роботі з обмеженнями ПП, наприклад, дозволяє запросити список обмежень, що діють у заданий період часу, перевірити чи поширюється обмеження на вказані елемент ПП у вказаний діапазон часу (коли через цей елемент проходить повітряне судно) тощо;

- модуль розрахунок потенційних конфліктних ситуацій – у цьому модулі реалізовано запропоновану методику розрахунку потенційних конфліктних ситуацій між повітряними суднами;

- модуль розрахунку маршруту польоту між заданими точками повітряного простору. Цей модуль включений до складу основних модулів, так як вирішуване ним завдання зустрічається на всіх етапах планування. Наприклад, розрахувати альтернативні маршрути може знадобитися при оформленні відмови у прийомі заявки на використання повітряного простору (у повідомленні REJ вказується причина відмови у прийомі заявки та можуть вказуватися пропозиції щодо зміни плану). Найчастіше альтернативні маршрути розраховуються за необхідності розробки регулюючих заходів організації потоків повітряного руху;

- модуль основних допоміжних функцій містить класи, що реалізують сервісні функції, наприклад:

- проєкції для переходу між географічними та декартовими координатами;
- «логери» дій користувачів та подій системи;
- класи виконують розрахунки геометричних операцій тощо.

Таким чином, до складу ядра входять класи, що реалізують базовий функціонал, необхідний для роботи практично будь-якого АРМа.

До складу додаткових модулів входять класи, що реалізують обробку додаткових вихідних даних, а також вирішення спеціалізованих прикладних завдань планування та організації повітряного руху.

Додаткові модулі включають:

- класи опису додаткових вихідних даних, що використовуються для вирішення завдань планування, наприклад, налаштування порядку розсилки повідомлень (коли, кому, які дані та в якому форматі необхідно розсилати);
- класи керування додатковими вихідними даними;
- постачальники даних – забезпечують отримання/надсилання вихідних даних (наприклад, отримання даних з таблиць СУБД або з файлів, розташованих у спільних папках, отримання даних по мережі за протоколами TCP/IP).
- парсери – забезпечують обробку вихідних даних отриманих у спеціалізованих форматах та перетворення їх до прийнятого у системі формату;
- генератори звітів – формують звіти щодо діяльності системи;
- класи вирішення спеціалізованих прикладних завдань автоматизації планування та організації повітряного руху, наприклад:
 - розв'язання задачі пошуку БПЛА;
 - розрахунок завантаження елементів ПП та пошук порушень їх норм пропускної спроможності;
 - розрахунок альтернативного маршруту між заданими точками ПП;
 - аналіз наслідків введення обмежень ПП тощо;
- класи, що представляють спеціалізовані версії обробників основних вихідних даних – реалізують спеціальний порядок обробки, специфічний даного виду АРМа, чи особливостей місця установки.

Можливості налаштування розробленого програмного забезпечення вкрай великі і торкаються всіх аспектів поведінки програми та інтерфейсу користувача. Налаштування різної версії по різних файлах (для зберігання налаштувань

використовуються файли у форматі XML) та відповідають за різні аспекти роботи програми, серед них:

- основні налаштування робочого місця – визначають тип автоматизованого робочого місця, параметри підключення до БД, дані про місце встановлення тощо;

- налаштування функцій робочого місця – відповідають за налаштування виконання окремих функцій програмного забезпечення (наприклад, які перевірки використовувати під час аналізу плану польоту);

- додаткові налаштування користувача – в основному налаштування подання даних в залежності від переваг диспетчера;

- налаштувань інтерфейсу – визначають шрифти і колірну схему елементів управління;

- налаштування стилів картки – визначають шрифти та колірну схему об'єктів картки повітряного простору.

Основною вимогою, що ставляться перед програмним забезпеченням систем для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП, є документування як дій диспетчера, так і інформації, що відноситься до системи.

Документування відбувається на кількох рівнях. По-перше, для кожного плану польоту, об'єктів аеронавігаційної інформації або довідників ведеться історія змін. Так само відбувається запис стану та зміни більшості зовнішніх систем, причому запис відбувається як засобами самих зовнішніх систем, так і дублюється в основній системі. Так для даних антена і АРП(Пеленгатор) ведеться свій лог подій і, як тільки відбувається якась позаштатна ситуація, наприклад, затримка в отриманні даних або інформація пропадає, про це сповіщається основна система.

По-друге, зберігаються виведення програми в стандартний потік виведення і потік виведення помилок, що дозволяє збирати докладні дані для пошуку та виправлення помилок. Для особливо важливих систем, пов'язаних з безпосереднім керуванням повітряним рухом, крім описаних, застосовуються зовнішні засоби

логування, які здійснюють запис відео та аудіо даних роботи диспетчера. Ці засоби є окремим незалежним програмно-апаратним комплексом, не пов'язаним з основною системою. Вони записують дані безпосередньо з моніторів, а також відео та аудіо дані всіх переговорів та дій диспетчера.

При створенні апаратно-програмних комплексів для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП часто виникає ситуація, коли необхідно включити до складу комплексу автоматизовані робочі місця інших виробників. Таким чином, між цими робочими місцями необхідно організувати обмін даними. Для цього програмне забезпечення підтримує три можливі способи. По-перше, обмін даними через загальну таблицю у базі даних. По-друге, за допомогою веб служб, заснованих на протоколі HTTP. По-третє, за допомогою файлів та спільних папок. Цей варіант використовується частіше через його простоту і універсальність. У якості формату файлів обміну даними використовується XML. Цей стандартний формат підходить найкращим чином через його розширюваність, читабельність і гнучкість. Він дозволяє, не порушуючи загальної структури документа, вносити коригування та доповнення до даних.

Як уже зазначалося, на СПЗ автоматизованих робочих місць планування та організації ПП покладається рішення великої кількості завдань, що призводить до досить складного інтерфейсу користувача. При цьому, оскільки в залежності від типу АРМа змінюється фокус на вирішення тих чи інших завдань, неможливо розробити єдиний інтерфейс користувача, який би дозволяв ефективну взаємодію користувача з системою.

У рамках даної кваліфікаційної роботи розроблено СПЗ для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП.

○ 3.3 Підсистема візуалізації

СПЗ для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП складається з низки файлів, структура яких наведена

на рисунку 3.10. Головна форма носить назву MAIN.

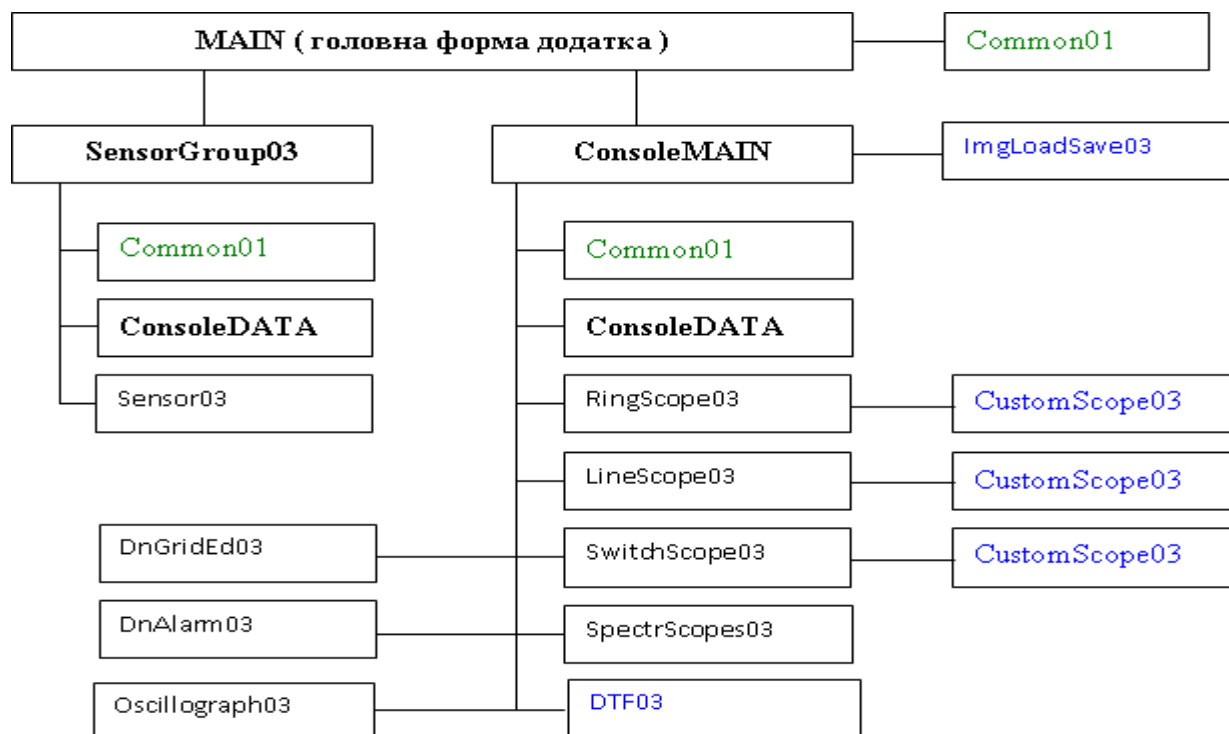


Рис. 3.10. Структура СПЗ для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП

Інформація збирається за допомогою модулю SensorGroup03. ConsoleMAIN представляє собою модуль для виведення інформації для технічного персоналу.

Код представлення структурної складової СПЗ для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП:

```

1  uses
2  Forms,
3  Common01 in 'Common01.pas',
4  MAIN in 'MAIN.pas' {Form1},
5  ConsoleDATA in 'CONSOLE \ ConsoleDATA.pas',
6  ConsoleMAIN in 'CONSOLE \ ConsoleMAIN.pas' {ConsoleForm},
7  Sensor03 in 'SENSORS \ Sensor03.pas',
8  SensorGroup03 in 'SENSORS \ SensorGroup03.pas' {SensorGroupForm},
9  Oscillograph03 in 'SERVICES \ Oscillograph03.pas',
10 CustomScope03 in 'SERVICES \ CustomScope03.pas',
11 ImgLoadSave03 in 'SERVICES \ ImgLoadSave03.pas',
12 LineScope03 in 'SERVICES \ LineScope03.pas',
13 RingScope03 in 'SERVICES \ RingScope03.pas',
14 SwitchScope03 in 'SERVICES \ SwitchScope03.pas',
15 DnAlarm03 in 'SERVICES \ DnAlarm03.pas',
16 DnGridEd03 in 'SERVICES \ DnGridEd03.pas',
17 SpectrScopes03 in 'SERVICES \ SpectrScopes03.pas',
18 DTF03 in 'SERVICES \ DTF03.pas';

```

Візуалізація даних спостереження здійснюється за допомогою форм. Першою після запуску програми з'являється форма «Імітатор каналу передачі даних», за допомогою якої є можливість спостерігати за надходженням до системи числових даних спостережень.

Дана форма здійснює імітацію спільної роботи сенсорів та серверу. На даній формі є можливість задати темп здійснення вимірів та спостерігати за кількістю вимірювань, які надійшли до системи.

Вікно для візуалізації оброблених даних розроблено для технічного персоналу, дане вікно дозволяє вказати на початок вимірювань та зупинку, також надає можливість увімкнути осцилограф та показати спектр.

Функція виклику осцилографа описується як:

```

1  // Створити осцилограф на динамічній формі
2  constructor Create (RqWidth, RqHeight: integer); overload;
3  // Створити осцилограф на орендованій панелі
4  constructor Create (RqPanel: TPanel); overload;

```

Осцилограф виводиться у окремому вікні вільовс.

Дисплей амплітудного спектру визивається функцією:

```

1 // Включити / Виключити ALARM - панель сигналу
2 procedure TConsoleForm.chkAlarmOnOfClick (Sender: TObject);
3 begin
4     if chkAlarmOnOf.Checked
5     then begin
6         if not Assigned (ALARM01)
7         then begin
8             // Створити ALARM - панель
9             ALARM01 := TDnAlarm.Create (AlarmWidth, AlarmHeight);
10            // Установка параметрів в ALARM - панель
11            // за обраним індикатору
12            SetAlarmParam (ALARM01, SelectInd);
13        end;
14    end
15    else begin
16        if Assigned (ALARM01)
17        then begin
18            ALARM01.Free;
19            ALARM01 := nil;
20        end;
21    end;
22 end;

```

Порогове значення та значення допускового контролю здійснюється із застосуванням класу TDnAlarm = class (TObject):

```

1 // Кінцева (червона) межа в позитивному діапазоні
2 property P2Wall : Extended read fP2Wall write SetP2Wall;
3 // Початкова (жовта) межа в позитивному діапазоні
4 property P1Wall: extended read fP1Wall write SetP1Wall;
5 // Початкова (жовта) межа в негативному діапазоні
6 property N1Wall: extended read fN1Wall write SetN1Wall;
7 // Кінцева (червона) межа в негативному діапазоні
8 property N2Wall: extended read fN2Wall write SetN2Wall;
9 // -----
10 // Режими використання кордонів для контролю значень
11 property AlarmMode: TAlarmMode read fAlarmMode write SetAlarmMode;

```

Всі отримані дані є можливість зберегти у форматі Excel.

3.4 Верифікація результатів дослідження

Дослідимо систему на різних значеннях початкової точки дослідження, та результати представимо у вигляді рис. 3.11 та рис.3.12.

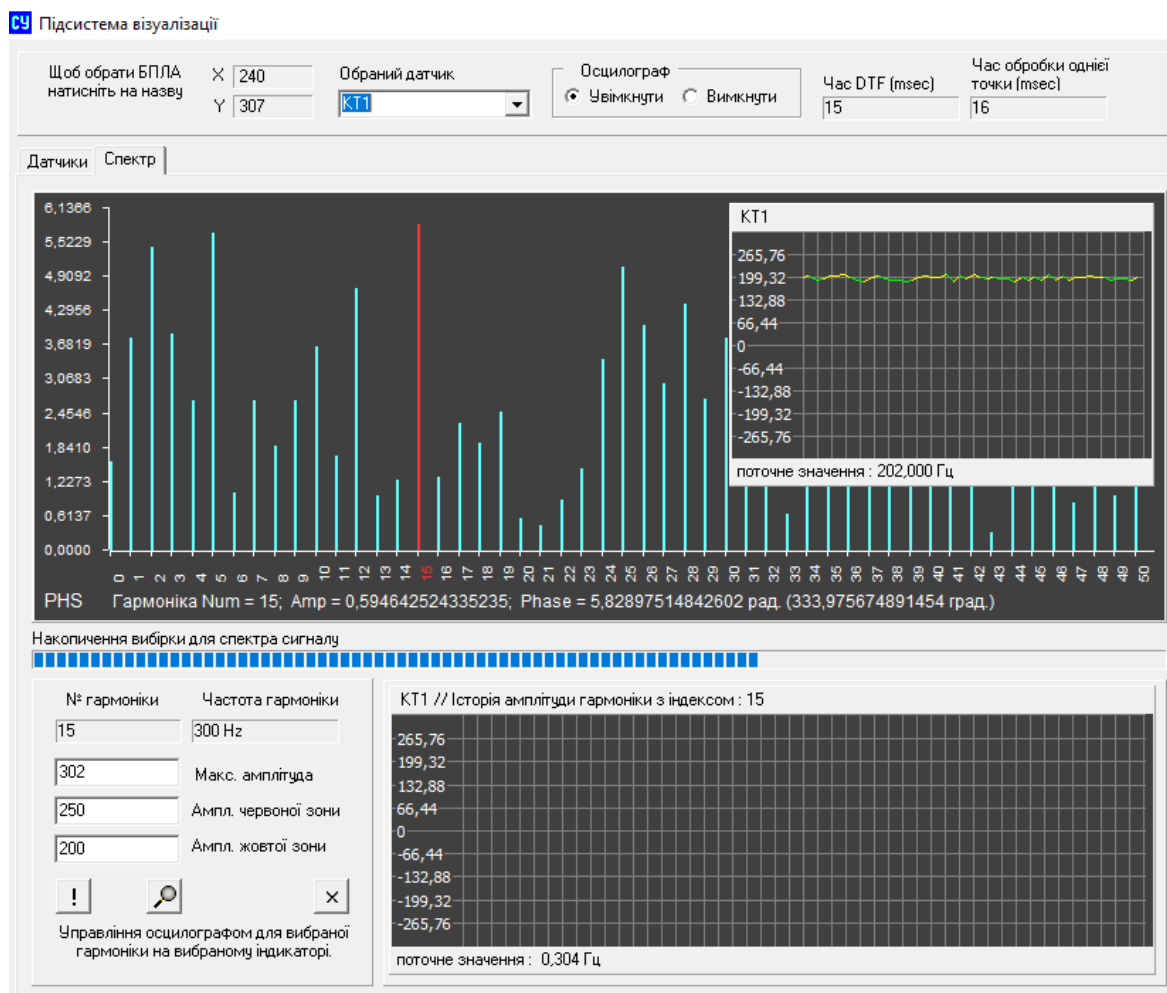


Рис. 3.11. Результати роботи системи на різних значеннях початкової точки дослідження

Враховуючи той факт, що сервер на якому реалізується спеціальне програмне забезпечення для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП не підключений до реальної системи щодо здійснення вимірів з датчиків БПЛА у роботі застосовується імітатор

системи вимірювання. Сервер на якому реалізується спеціальне програмне забезпечення містить імітатори датчиків, кожен із яких відповідає за певний процес вимірювання.

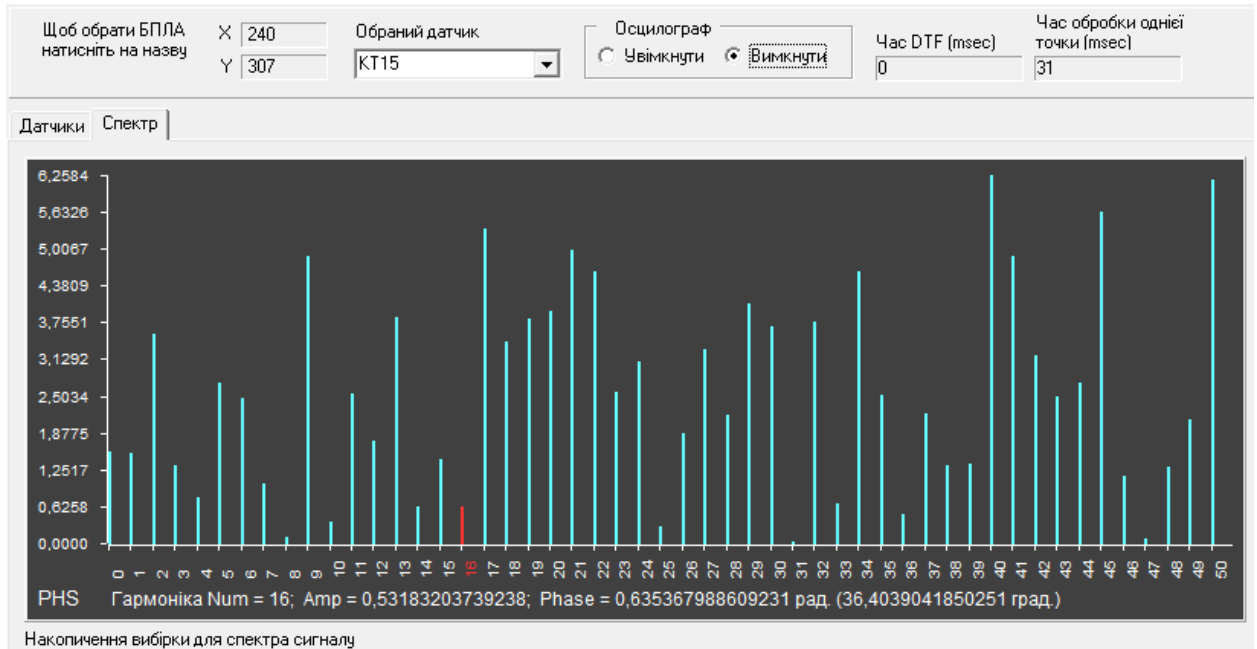


Рис. 3.12. Результати роботи системи на різних значеннях початкової точки дослідження

Імітатор системи для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у ПП дозволяє формувати різноманітні тестові сигнали для перевірки працездатності консолі системи для моніторингу за електромагнітним випромінюванням БПЛА щодо попередження зіткнень у повітряному просторі.

○ ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Третім здійснено проектування інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП.

Здійснено побудову комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі у програмному забезпеченні Cisco Packet Tracer.

Для підтримки діяльності з планування та організації використання повітряного простору ситуаційні центри по конфліктним зонам повітряного простору оснащуються спеціальними комплексами засобів автоматизації, що включають апаратно-програмні засоби обробки планової, аеронавігаційної, метео та іншої інформації. Розроблено структуру апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП. При створенні апаратно-програмних комплексів для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП часто виникає ситуація, коли необхідно включити до складу комплексу автоматизовані робочі місця інших виробників. Таким чином, між цими робочими місцями необхідно організувати обмін даними. Для цього програмне забезпечення підтримує три можливі способи. По-перше, обмін даними через загальну таблицю у базі даних. По-друге, за допомогою веб-служб, заснованих на протоколі HTTP. По-третє, за допомогою файлів та спільних папок. Цей варіант використовується частіше через його простоту і універсальність. У якості формату файлів обміну даними використовується XML. Цей стандартний формат підходить найкращим чином через його розширюваність, читабельність і гнучкість. Він дозволяє, не порушуючи загальної структури документа, вносити коригування та доповнення до даних.

ВИСНОВКИ

У межах даної кваліфікаційної роботи здійснено дослідження ситуаційного центру по конфліктним зонам повітряного простору та розроблено систему візуалізації для відображення показників з датчиків БПЛА для технічного персоналу.

На основі вищевикладеного варто зробити наступний висновок:

Досліджено необхідність створення Ситуаційного центру зон конфліктів повітряного простору та його інтеграція в міжнародну систему інформування про загрози використання повітряного простору. Проаналізовано фактори що сприяють покращенню рівня безпеки міжнародного повітряного руху, бажання України підтримувати європейський курс інтеграції та покращення довіри зі сторони міжнародних авіаперевізників, що стимулює їх більш активно використовувати повітряний простір над територією України.

Проведено огляд та класифікацію ситуаційних систем (центрів), їх структуру та функціонування, а також класифіковано СЦЗКПП як інформаційно-аналітичну ситуаційну систему.

СЦЗКПП на основі використання сучасної техніки, методологій, інформаційних технологій дозволяє створити, реалізувати та забезпечити такі складові рішень, як системність, прогноз передбачуваних процесів розвитку, оцінка фактору ризику використання повітряного простору. При цьому зазначається, що для забезпечення багато потокової обробки інформаційних запитів, що мають бути підґрунтям для прийняття рішення щодо безпеки використання повітряного простору використовуються різні канали зв'язку, комп'ютерні та телекомунікаційні мережі, сучасні обчислювальні та інформаційні технології.

Розкрито структуру системи управління, визначено складову архітектуру СЦЗКПП та запропоновано алгоритм реалізації. При синтезі систем управління БЛА використано концепцію, у якій життєдіяльність живих організмів

сприймається як постійне і безперервне парірування змін довкілля. У пропонованій СУ з КШІ на підставі інформації про мету, стан зовнішнього середовища функціонування БЛА, а також про прогноз результатів дії проводиться експертна оцінка ситуації та вибір найкращого сценарію дій БЛА. Управління БЛА здійснюється з урахуванням прийнятого рішення і реалізується у вигляді сукупності заходів різними виконавчими підсистемами. Результати керування та копії команд використовуються для прогнозування результатів дії. Прогноз може здійснюватися з допомогою моделей, які доцільно одержувати різноманітними методами, наприклад, за допомогою нейромереж, самоорганізацією тощо.

Далі при функціонуванні динамічного об'єкта практичний результат порівнюється з прогнозом та підтверджується правильність його роботи. В іншому випадку коригується керуючий вплив або надається інший сценарій поведінки динамічного об'єкта, що призводить до відповідності прогнозних значень та практичного результату.

Здійснено побудову комп'ютерної мережі оцінки ризиків польотів у повітряному просторі у програмному забезпеченні Cisco Packet Tracer.

Для підтримки діяльності з планування та організації використання повітряного простору ситуаційні центри по конфліктним зонам повітряного простору оснащуються спеціальними комплексами засобів автоматизації, що включають апаратно-програмні засоби обробки планової, аеронавігаційної, метео та іншої інформації. Розроблено структуру апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП. При створенні апаратно-програмних комплексів для обробки та візуалізації даних у КІС СЦЗКПП часто виникає ситуація, коли необхідно включити до складу комплексу автоматизовані робочі місця інших виробників. Таким чином, між цими робочими місцями необхідно організувати обмін даними. Для цього програмне забезпечення підтримує три можливі способи. По-перше, обмін даними через загальну таблицю у базі даних. По-друге, за допомогою веб

служб, заснованих на протоколі HTTP. По-третє, за допомогою файлів та спільних папок. Цей варіант використовується частіше через його простоту і універсальність. У якості формату файлів обміну даними використовується XML. Цей стандартний формат підходить найкращим чином через його розширюваність, читабельність і гнучкість. Він дозволяє, не порушуючи загальної структури документа, вносити коригування та доповнення до даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Морозов А.О., Кузьменко Г.Є. Шлях від АСУП до Ситуаційних центрів // Математичні машини і системи. – 2008. - №3. – С. 82-107.
2. Морозов А.О., Кузьменко Г.Є. Побудова сценаріїв розвитку подій – основа функціонування інформаційноаналітичних систем типу ситуаційні центри // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. м.Київ, червень, 2005. - С. 41-44.
3. Кузьменко Г.Є., Литвинов В.А., Ходак В.І. Створення баз знань в системах колективного прийняття рішень типу Ситуаційних центрів // Математичні машини і системи. – 2000. - №1. – С. 71-80.
4. В'юн В.І., Довгополий А.С., Кузьменко Г.Є. Багатоагентні риси архітектури інтелектуалізованих систем автоматизації управління // Математичні машини і системи. – 2003. - №1. – С. 52-56.
5. Морозов А.О., Косолапов В.Л., Ромашкина Л.В., Козлов В.В., Муренко Р.П. Запровадження інтелектуальних інформаційних технологій для систем підтримки прийняття рішень // Науково-практичний інформаційний журнал «Науково-технічна інформація». – 2003. - №3. - С. 36-41.
6. Кузьменко Г.Є., Литвинов В.А. Прагматичний підхід до оцінки рівня інтелекту інтелектуалізованих систем // Математичні машини і системи. – 2003. - №3,4. – С. 75-78.
7. Кузьменко Г.Є., Литвинов В.А., Майстренко С.Я., Ходак В.І. Алгоритми і моделі автоматичної ідентифікації та корекції типових помилок користувача на основі природної надмірності // Математичні машини і системи. – 2004. - №2. – С.134-148.
8. В'юн В.І. Інтелектуалізація інформаційних систем – механізми та інструментарії інтерактивного ситуативного аналізу // Математичні машини і системи. – 2004. - №3. – С. 125-131.

9. Асельдеров З.М., В'юн В.І., Морозов А.О. «Континуум розумності» ситуаційних центрів // Штучний інтелект. Матер. конференції. – 2004. - №4. - С. 245-251.
10. Морозов А.О., В'юн В.І., Кузьменко Г.Є. Інтелектуалізація інформаційних систем: орієнтація на формування знань в процесах аналізу «інформаційних згорток» // Математичні машини і системи. – 2005. - №2. – С. 140-146.
11. В'юн В.І. Про деякі аспекти інтелектуалізації проблемно-орієнтованих інформаційних систем (ІС) // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. - м.Київ, червень, 2005. - С. 19-21.
12. В'юн В.І., Міхненко Ю.А. Сховище даних як модель ситуаційного аналізу діяльності інформаційної системи // Математичні машини і системи. – 2007. - №3,4. – С. 145-149. 30. Білецький Б.О., Гамбаль О.В., Кузьменко Г.Є. Інтелектуалізація взаємодії користувача з системою на основі геоінформаційних технологій // Математичні машини і системи. – 2008. - №2. – С. 63-69.
13. Морозов А.О., Яровий А.Д., Кузьменко Г.Є., Литвинов В.А., Пилипенко Ю.Г., Косс В.А., Трацевський О.В. Основні положення концепції розподіленого інтегрованого банку даних у складі ЄАСУ ЗСУ // Математичні машини і системи. – 1999. - №2. – С. 143-152.
14. Морозов А.О., Косолапов В.Л., Колосов В.Є., Суперсон С.І., Копейчиков В.В. Підтримка прийняття рішень із використанням прогнозно-аналітичних технологій // Науково-практичний інформаційний журнал: «Науковотехнічна інформація» – 2002. - №2. – С.32-34.
15. Косс В.А. Варіант структури активного об'єкта з точки зору функцій підтримки прийняття рішень в системах типу «Ситуаційний центр» // Математичні машини і системи. – 2004. - №2. – С. 73-78.
16. Білецький Б.О., Качан Є.В., Кудря А.В., Ситниченко О.В. Використання засобів ГІС в системах підтримки прийняття рішень (приклад)

реалізації) // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. - м.Київ, червень, 2005. - С. 10-14.

17. Бабенко В.П. Формування траси польоту бпла під час планування розвідувальних операцій / В.П. Бабенко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ “ХПІ”. – С. 15-16.

18. Бережний А. О. Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за Харківський національний спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, 2020, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2020. 192 с.

19. Белоусова Н. В., Бойко О. Л. Використання БПЛА для проведення земельно-кадастрових робіт. Геодезія, картографія, землеустрій, кадастр : наукові дослідження та практичні вишукування: матер. Всеукр. наук.-практ. Інтер.-конф. (м. Умань, 27 квітня 2020 р.). – Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2020.

20. Бондар С. О. Перспективи та особливості групового викорис-тання безпілотних літальних апаратів / С. О. Бондар, О. В. Кожохіна, В. О. Боровик, Я. М. Ліндер, М. В. Коршунов // Управляющие системы и машины. – 2018. – № 5. – С. 25–37. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/USM_2018_5_5.

21. Даник Ю. Г. Алгоритм виявлення радіосигналів систем дистанційного керування безпілотними літальними апаратами / Ю. Г. Даник, О. В. Манько, В. В. Павлюк // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації

складних інформаційних систем. – 2013. – Вип. 7. – С. 5–13. –
Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Psvz_2013_7_3

22. Журавська І. М. Теоретичні основи, методи та засоби створення та функціонування швидкодинамічних гетерогенних комп'ютерних мереж критичного застосування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2019. 416 с.

23. Інтелектуалізація сучасних систем автоматичного керування безпілотними літальними апаратами / В.І. Гриценко, О.Є. Волков, М.М. Комар, Ю.П. Богачук // Кибернетика и вычисл. техника. – 2018. – № 1 (191). – С. 45–59.

24. Іщенко В. С. Підвищення ефективності систем візуальної навігації БПЛА / Наукові перспективи: журнал. 2021. № 6(12) 2021. С. 23-31.

25. Кашаєв І. О. Застосування безпілотних літальних апаратів для вирішення задач моніторингу об'єктів аеродромної інфраструктури / І. О. Кашаєв, О. А. Усачова, С. М. Новічонок, В. М. Петров // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 2. – С. 48–58.

26. Книш Б. П. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів / Б. П. Книш, Я. А. Кулик, М. В. Барабан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 3. – С. 246–252.

27. Мясіщев О. А. Режими польоту контролерів польоту arm 2.6 і рixhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82.
28. Олізаренко С. А. Розробка функціональної моделі процесу створення бази знань про розпізнавання об'єктів і дій противника на основі нейромереж та нечіткої логіки. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017. № 1 (50). С. 58-62.
29. Чемен Є. Ю., Водічев В. А. Конструкція та польотні характеристики систем на базі безпілотних літальних апаратів / Electrotechnic and Computer Systems. 2021. № 34 (110). С. 17-25.
30. Яровий О. В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів / О. В. Яровий // Молодий вчений. – 2018. – № 5(1). – С. 190–196.
31. Abdelfatah, Reham & Moawad, Ahmed & Alshaer, Nancy & Ismail, Tawfik. (2021). UAV Tracking System Using Integrated Sensor Fusion with RTK-GPS. 352-356. 10.1109/MIUCC52538.2021.9447646.
32. Asemi, Asefeh & Ko, Andrea & Nowkarizi, Mohsen. (2021). Intelligent libraries: a review on expert systems, artificial intelligence, and robot. Library Hi Tech. 39. 412-434. 10.1108/LHT-02-2020-0038.
33. Catargiu, Florin & Vidan, Cristian & Mihai, Razvan-Viorel & Alexandru, Gavril. (2018). Helical Antenna Design for Automated UAV Tracking System. Journal of Military Technology. 1. 25-28. 10.32754/JMT.2018.1.04.
34. Citci, Umut. (2022). The “Transformative” Effect of Artificial Intelligence Systems (AIS) in Entrepreneurship. 10.1007/978-981-16-8997-0_4.
35. Clauberg, Rolf. (2020). Cyberphysical-systems-and-artificial-intelligence.
36. Dhamanda, Ashish & Ahmad, M. H & Imran, Muhammad & Khalid, Muhammad & Arshad, Muhammad Sajid & Zubair, Muhammad & Javed, Muniza & Bazyar, Pourya. (2021). ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS.

37. **Gidwani, Ansh. (2019). Vehicle Tracking System based on Artificial Intelligence and Networking. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 7. 2689-2694. 10.22214/ijraset.2019.3490.**
38. **Hung, Hsin-Ai & Hsu, Hao-Huan & Cheng, Teng-Hu. (2021). Image-Based Multi-UAV Tracking System in a Cluttered Environment.**
39. **Kalirajan, K. & Sudha, M. & Venkatesan, Rajeshkumar & Jamaesha, S.. (2012). Adaptive visual tracking system using artificial intelligence. 954-957. 10.1109/ICIEV.2012.6317539.**
40. **Li, Shujuan & Ding, Junhang & Li, Jianzhi. (2020). Error Analysis of Dual Antenna UAV Tracking System. 10.1007/978-981-32-9050-1_28.**
41. **Radanliev, Petar & De Roure, David & Maple, Carsten & Santos, Omar. (2022). Forecasts on Future Evolution of Artificial Intelligence and Intelligent Systems. IEEE Access. 10. 1-1. 10.1109/ACCESS.2022.3169580.**
42. **Syed, Sultan & Salah, Zaki & Shaikh, Nihal. (2020). Autonomous Systems - Artificial Intelligence AI by PISIQ. Artificial Intelligence and Robotics Research. 6.**
43. **Tang, D., Li, F., Shen, N., and Guo, S., UAV attitude and position estimation for vision-based landing. Proceedings of the 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, August 2011. – pp.4446– 4450.**
44. **Waymond Rodgers (2022). Introduction to Artificial Intelligence and Algorithms. 10.2174/9789815049541122010003.**
45. **Williams, P., and Crump, M., All-source navigation for enhancing UAV operations in GPS-denied environments. Proceedings of the 28th International Congress of the Aeronautical Sciences, Brisbane, September 2012.**
46. **X. Tong, Z. Li, G. Han, N. Liu, Y. Su, J. Ning, and F. Yang, (2017) Adaptive ekf based on hmm recognizer for attitude estimation using mems marg sensors, IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 8, pp. 3299–3310.**

47. Yang, Bo & Wu, Hsiang-Huang & Cao, Xuelin & Li, Xiangfang & Kroecker, Timothy & Han, Zhu & Qian, Lijun. (2019). Intelli-Eye: An UAV Tracking System with Optimized Machine Learning Tasks Offloading. 1-6. 10.1109/INFOCOMWKSHP47286.2019.9093759.

48. Yang, K. & Xie, M. & An, J. & Zhang, X. & Su, H. & Fu, X.. (2021). Correlation filter based UAV tracking system on FPGA. 671-676. 10.1049/icp.2021.0758.

