

Національна академія
наук України

Міністерство освіти
і науки України

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ**

ВОЛКОВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ



УДК 656.7.084:681.518:004.896

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ
ДИНАМІЧНИМИ КОНФЛІКТНИМИ СИТУАЦІЯМИ ПОВІТРЯНИХ
КОРАБЛІВ У МАСШТАБІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій та систем Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент

Павлова Світлана Вадимівна,

Національний авіаційний університет, завідувач кафедри
авіоніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Аль-Амморі Алі Нурддинович,

Національний транспортний університет, завідувач кафедри
інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної
безпеки

доктор технічних наук, доцент

Семко Віктор Володимирович,

Київський університет імені Бориса Грінченка, професор
кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки

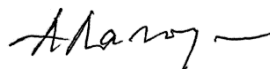
Захист відбудеться « 22 » квітня 2021 р. о 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.171.01 у Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій та систем НАН та МОН України за адресою: 03187, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України за адресою: 03187, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 40.

Автореферат розісланий: « 18 » березня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.171.01



О.П. Лагода

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зіткнення повітряних кораблів (ПК) в повітрі викликає велике число катастроф, тому дуже важлива кількісна оцінка безпеки польоту величиною допустимого ризику зіткнення ПК. Однак навіть за допомогою високоєфективних і високонадійних систем управління повітряним рухом (УПР) неможливо забезпечити необхідну безпеку польотів. Це спричинено тим, що частина земної поверхні досі не охоплена зоною дії систем УПР, і, крім того, існуючі системи УПР не дозволяють надійно контролювати польоти на малих висотах та у важкодоступних для спостереження регіонах земної поверхні. Для зниження ризику зіткнень при зростанні інтенсивності повітряного руху необхідно підвищувати надійність систем навігації та УПР, перш за все – шляхом збільшення стабільності та якості технічних засобів цих систем.

Завдання запобігання конфліктних ситуацій (КС) має гібридну структуру, в якій дискретно-часовий процес аналізу і прийняття рішень пов'язаний з безперервною динамікою процесу реалізації рішення. Системи розв'язання КС повинні виробляти команди, які можуть бути реалізовані бортовою системою керування польотом та які враховують гібридну структуру завдання. Однак диспетчерські служби УПР і екіпажі ПК стикаються з дедалі більшими труднощами попередження небезпечних зближень літаків у повітрі (рис. 1). А технічні засоби і системи попередження зіткнень на ПК перестають відповідати сучасним вимогам і не забезпечують необхідного рівня безпеки польотів.

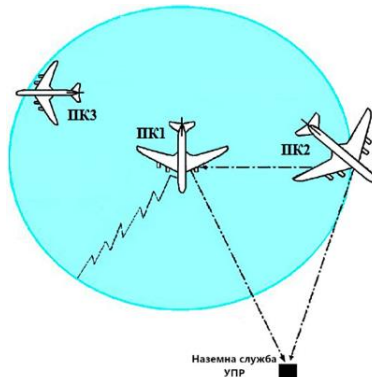


Рисунок 1 – Схема взаємодії ПК та служби УПР

Досить ефективним засобом підвищення надійності і оперативності наземних служб УПР є автоматизація процесів контролю і управління польотами, впровадження більш досконалих систем радіолокації, обчислювальних комплексів, систем відображення інформації. Автоматизація

систем УПР є основою розвитку засобів наземного диспетчерського контролю і впровадження таких систем значно підвищує ефективність та безпеку повітряного руху. Разом з тим такі засоби не можуть в достатній мірі забезпечити попередження небезпечних зближень на трасах з інтенсивним рухом в важкодоступних районах, а також при міжконтинентальних польотах.

Різноманітні методи і технології попередження зіткнень ПК в сучасній авіації були відображені в роботах таких авторів як В.В. Павлов, М.М. Красовський, В.А. Боднер, В.В. Дружинін, J. Krozel, M. Peters, V. Duong, K. Zeghal та інші. Питання розробки способів та пристроїв вирішення конфліктних ситуацій ПК розглянуті в роботах дослідників С.В. Павлової, В.І. Чепіженка, В.П. Харченко, В.М. Васильєва, Д.В. Васильєва, С.А. Закори, Г.Ф. Аргунова, J. Hii, M. Prandini, C. Tomlin, G. Pappas та інших. Аналіз літературних джерел показав, що запропоновані методи не завжди відповідають сучасним вимогам безпеки польотів та не завжди забезпечують дотримання норм ешелонування ПК. Крім того, створення та впровадження нових концепцій управління повітряним рухом вимагає запровадження принципово нових технологій забезпечення безпеки польотів, і, в тому числі, методів вирішення динамічних конфліктних ситуацій ПК.

Створення нової інформаційної технології розв'язання конфліктних ситуацій ПК у масштабі реального часу і реалізація такої технології відповідними алгоритмами забезпечить ефективне запобігання небезпечних зближень. Розробка такої технології дозволить забезпечувати розходження ПК відносно один одного на відстані, що відповідає нормам ешелонування ПК, в умовах складних численних конфліктів, що включають велику (до 50) кількість ПК і мають гранично складну геометрію конфлікту (наприклад, перетин двох щільних потоків ПК, сходження в одній точці і в один час ПК, що летять в різних напрямках, конфлікт з поєднанням перетинів і обгонів декількох ПК в одній точці та ін.).

Таким чином, *актуальність теми* дисертаційної роботи визначається науково-практичною важливістю створення нової інформаційної технології розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК для забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів в умовах різкого збільшення їх інтенсивності. Інформаційна технологія повинна виконувати просторові маневри ухилення з метою запобігання можливого небезпечного зближення ПК, а після розв'язання конфлікту здійснювати повернення ПК на планову траєкторію та контролювати її подальше витримання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках державних бюджетних тем Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України: Ф.Ц. 185.09 «Створити теоретичні засади глобальних комп'ютерно-комунікаційних мереж інтелектуального управління жорсткими складними

розподіленими динамічними процесами» (2016 р., № держреєстрації 0112U002077), В.Ф. 185.10 «Розробити моделі та методи вирішення виражених конфліктних ситуацій» (2017 р., № держреєстрації 0113U001011), Ф.Ц. 185.11 «Розробка методів і моделей інтелектуального управління динамічними процесами в розподілених комп'ютерно-комунікаційних середовищах» (2017 р., № держреєстрації 0117U002110), В.П. 185.12 «Розроблення моделей та алгоритмів інтелектуального управління гібридними системами в умовах невизначеності» (2017 р., № держреєстрації 0118U000092), МННЦІТС-2017/1 «Розробка інформаційної технології інтелектуального дистанційного управління динамічними об'єктами для боротьби з безпілотними літальними апаратами» (2017 р., № держреєстрації 0117U002883) та науково-дослідною роботою молодих вчених НАН України «Фундаментальні засади створення мережецентричної технології контролю передачі інформаційно-комунікаційних даних в мережі» (2015 р., № держреєстрації 0115U005108).

Метою дисертаційної роботи є розроблення нової інформаційної технології розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК у масштабі реального часу для підвищення безпеки польотів в авіації та забезпечення гарантованого рівня безпеки під час попередження зіткнень літальних апаратів. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішено наступні **задачі**:

- аналіз існуючих інформаційних технологій та методів розв'язання конфліктних ситуацій ПК в умовах польотів за довільними маршрутами, а також формулювання математичного та технічного завдання розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК;
- розроблення методу інваріантного управління розв'язанням конфліктних ситуацій ПК в умовах невизначеності;
- синтез моделі підсистеми керування розв'язанням конфліктних ситуацій ПК;
- прогнозування стану та динаміки польоту ПК у масштабі реального часу шляхом розроблення моделі динамічного руху ПК та врахування розподіленого середовища управління;
- верифікація розробленої інформаційної технології шляхом проведення комп'ютерного моделювання;
- визначення критеріїв оптимальності та обмежень при розв'язанні конфліктних ситуацій ПК.

Об'єкт дослідження: процес розв'язання конфліктних ситуацій між повітряними кораблями в авіації.

Предмет дослідження: інформаційні технології та методи розв'язання конфліктних ситуацій повітряних кораблів в умовах наявності динамічного конфлікту в розподіленому середовищі.

Методи дослідження: методи математичного аналізу, теорії

ймовірності, теорії автоматичного керування, теорії нелінійної інваріантності, статистичне і імітаційне моделювання, теорія навігації, теорія оптимізації систем і процесів, теорія інтелектуального управління.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримано такі результати:

Вперше

- розв'язано задачу уникнення динамічних конфліктних ситуацій повітряних кораблів методом, який враховує глобальний мінімум відхилення повітряних кораблів від початкових траєкторій; відмінністю від існуючих підходів є алгоритм пошуку оптимальної траєкторії маневрування з забезпеченням гарантованого рівня безпеки;

- розроблено метод розв'язання динамічних конфліктних ситуацій повітряних кораблів у масштабі реального часу, який враховує зони невизначеності положення літака, області керованого стану літака та використовує алгоритми вибору типу маневру з встановленням пріоритетності літаків в зоні конфліктної взаємодії;

- розроблено структурно-функціональну схему, схему компонентів та зв'язків і алгоритм роботи підсистеми розв'язання конфліктних ситуацій у повітряних кораблях, що забезпечує виконання розробленого методу та включає всі необхідні структурні елементи для інтеграції у бортові системи літальних апаратів.

Удосконалено

- метод нелінійної інваріантності для підвищення ефективності розв'язання задач вирішення завдання складних розряджених конфліктних ситуацій динамічних об'єктів, що дозволяє враховувати нелінійні режими динаміки польоту повітряних кораблів;

- концепцію децентралізованого управління рухом повітряних кораблів, яка відрізняється від існуючих розподіленою системою керування в часі і просторі, що забезпечує належну організацію повітряного руху в умовах збільшення інтенсивності польотів та переходу на нові концепції управління повітряним рухом.

Наукова новизна одержаних результатів захищена 4 патентами України на винахід та 14 патентами України на корисну модель.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення розробленої інформаційної технології розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК полягає у розвитку сучасних засобів забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів за допомогою створених алгоритмів попередження зіткнень ПК. Такі алгоритми визначають координати місцеположення та параметри руху ПК, прогнозують можливе положення ПК через певний час за допомогою імітаційного моделювання з заданою дискретністю для виявлення загрози зіткнення, виконують інформаційний обмін між ПК для сповіщення про

загрозу, для координації маневрів уникнення зіткнення, для виконання автоматизованого процесу розв'язання конфліктної ситуації. При цьому розроблена інформаційна технологія відповідає принциповим технологічним вимогам, а саме: розв'язання КС може виконуватися маневром тільки одного ПК з усіх конфліктуючих; для виключення додаткових конфліктних ситуацій маневр в цілому виконується з мінімальним відхиленням ПК від його траєкторії; маневр має мінімальну тривалість, ділянки ухилення і повернення виконуються за мінімальний час на максимально допустимій величині керування; виявлення і аналіз можливої КС виконується у масштабі реального часу і починається заздалегідь (з запасом по відстані і часу) при таких початкових позиціях ПК, в яких маневр ухилення буде гарантовано виконаний.

Результати наукових досліджень впроваджені в науково-дослідній роботі Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, в науковому та навчальному процесах Навчально-наукового інституту аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, в дослідно-конструкторському відділенні Державного підприємства «Антонов», в Науково-виробничому центрі ВАТ «Меридіан» імені С.П. Корольова, в ДК «Укроборонпром», що підтверджено відповідними актами впровадження та використання.

Особистий внесок здобувача у працях зі співавторами.

Дисертаційна робота є результатом самостійних досліджень. Математична та алгоритмічна складова інформаційної технології, метод розв'язання конфліктних ситуацій, імітаційні моделювання, комп'ютерну обробку даних та аналіз одержаних результатів досліджень здійснено безпосередньо здобувачем. У [1, 12] проаналізовано можливості тривимірного комп'ютерного моделювання та особливості роботи комп'ютерних мереж для проведення досліджень по віддаленому керуванню динамічними процесами; у [2-3, 16-17] – описано мережецентричну систему управління та контролю передачі інформаційних даних в моделях віддаленого керування ПК; у [4-5, 18-20] – запропоновано метод посадки ПК за вільними траєкторіями під час конфліктних ситуацій; виконано дослідження та аналіз сучасного стану проблеми попередження зіткнень ПК; у [6] – запропоновано структуру нової системи розв'язання КС ПК у масштабі реального часу; у [7] – надано результати та аналіз моделювань розробленої інформаційної технології розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК; у [8, 27] – надано детальний опис принципу дії методу інваріантного розв'язання динамічних конфліктів ПК; у [9] – запропоновано метод визначення пріоритетного ПК в КС на основі визначення областей керованого стану, а також описану базу даних маневрування на основі діаграм Ейлера-Венна; у [10-11] – розглянуто питання застосування сучасного імітаційного комп'ютерного моделювання для проведення складних аеродинамічних досліджень; у [13-15] – запропоновано створення нової інформаційної технології розв'язання

конфліктних ситуацій ПК; у [22-26] – описано особливості та постановку задач розв’язання динамічних конфліктних ситуацій ПК на основі нового методу; у [28] – розроблено комп’ютерну програму моделювання польоту літака на основі ергатичної мережецентричної системи керування; у [29] – створено комп’ютерну програму попередження зіткнень рухомих об’єктів в динамічному конфлікті у масштабі реального часу; у [30-32] – розроблено новий спосіб та пристрій попередження зіткнень рухомих об’єктів в динамічному конфлікті у масштабі реального часу; у [33] – розроблено новий спосіб оптико-акустичної пеленгації за допомогою безпілотних літальних апаратів, які використовують алгоритми визначення координат та групового уникнення зіткнень.

Апробація наукових результатів. Основні результати роботи було представлено на всеукраїнських та міжнародних конференціях, зокрема: Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика» (Миколаїв, 2013 р.; Київ, 2014 р.), XI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Проблеми навігації і управління рухом» (Київ, 2013 і 2015 роки), I і II Всеукраїнські науково-технічні конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування України» (Харків, 2014, 2015 і 2017 роки), I Міжнародна конференція «Infocom Advanced Solutions» (Київ, 2015 р.), IV Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2015 р.), XVI Міжнародна конференція «Проблеми інформатики та моделювання» (Одеса, 2016 р.), II Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні проблеми розвитку освіти і науки в умовах глобалізації» (Дніпро, 2016 р.), VII Міжнародна наукова конференція «Сучасні інформаційні технології» (Одеса, 2017 р.).

За результатами Всеукраїнського конкурсу патентів «Винахід-2020» – Патент України №119692 «Спосіб оптико-акустичної пеленгації та групової протидії ворожим безпілотним літальним апаратам» став переможцем у номінації «Оборона та державна безпека» (Київ, 2020).

Публікації за темою дисертації. За матеріалами дисертації опубліковано **33** роботи: з них **9** статей у фахових та наукометричних виданнях; **1** стаття у закордонному виданні, що індексується у базі *Scopus*; **18** тез доповідей на наукових конференціях; **4** патенти України; **2** авторських свідчення на комп’ютерні програми.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається з анотації, переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 199 сторінок, в тому числі 131 сторінок основного тексту, ілюстрованих 67 рисунками та 6 таблицями. Список використаних джерел містить 119 найменувань на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено актуальність теми дисертаційної роботи, мету і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Зазначено зв'язок теми досліджень з науковими програмами, планами, темами за місцем виконання дисертаційної роботи, а також показано особистий внесок здобувача у кожній опублікованій ним науковій праці. Перелічено повний список публікацій по матеріалам дисертації та наведено апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** наведено визначення поняття конфліктних ситуацій (КС), класифікацію методів розв'язання КС та потенційно конфліктних ситуацій, представлено перспективні концепції управління повітряним рухом (УПР) та сучасні норми Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) для ешелонування та розв'язання КС. Проаналізовано основні сучасні теоретичні та практичні інформаційні технології, методи і системи для попередження зіткнень повітряних кораблів (ПК) в повітряному просторі, виявлено недоліки та вказано на можливі шляхи їх усунення. Висвітлено огляд теорії диференціальних ігор та управління строєм ПК для попередження зіткнень ПК; показано, що зазначені теорії мають суттєві обмеження та функціональні недоліки, що майже унеможлиблює їх застосування для розв'язання КС ПК у масштабі реального часу.

Методи вирішення КС класифікуються за розмірністю простору, в якому виявляють конфлікт, геометрією конфлікту, способом прогнозування положення ПК, способом аналізу ступеня небезпеки ситуації, способом розрахунку безпечного маневру, типом можливих маневрів і їх керуючими параметрами, стратегією розв'язання конфліктів. Методи, призначені для розв'язання конфліктів, можна поділити на дві групи, що відрізняються послідовним або паралельним характером управління розв'язанням конфлікту. З аналізу літератури робиться висновок про певні переваги геометричного методу і методу потенційних полів.

Основними причинами підвищення частоти авіакатастроф є постійне зростання інтенсивності повітряного руху, тобто велика завантаженість повітряного простору, знаходження в повітряному просторі застарілих і несправних ПК, зношування наземної та бортової апаратури, помилки персоналу служб УПР і екіпажів. Останні дві причини викликають найбільше число катастроф, тому дуже важлива кількісна оцінка безпеки польоту допустимим ризиком зіткнення ПК. ІКАО були введені норми ешелонування для розподілу ПК у повітряному просторі на встановлені інтервали заданої величини з метою попередження КС. Вертикальним ешелонуванням називають розосередження ПК на різних рівнях по висоті. Бічне ешелонування полягає в розподіленні запланованих маршрутів так, щоб відстань між їх ділянками ніколи не була меншою за деяку визначену дистанцію.

У **другому розділі** розглянуто математичний опис КС ПК та сформовано задачу можливого розв'язання КС з використанням теорії інваріантності та диференціальних ігор. Виконано теоретичну розробку алгоритмів представленого в дисертаційній роботі нового методу розв'язання КС ПК у масштабі реального часу, а саме алгоритму визначення наявності КС, алгоритму для визначення пріоритетного ПК, траєкторія руху якого не буде змінюватися при виникненні критичної ситуації; алгоритму для визначення ПК, який має змінити траєкторію руху при виникненні КС.

Розроблений метод розв'язання КС КП у масштабі реального часу може використовуватися для підвищення безпеки польотів та ефективності використання авіаційної техніки. Алгоритм методу містить наступні кроки:

Крок 1. Задають обмежену зону простору Q , яка являє собою сферичну область радіусом 50 кілометрів. Усі ПК_{*i*}, які знаходяться в Q , мають свій план польоту та мають можливість обміну даними за рахунок системи автоматичного залежного спостереження (ADS-B) і цифрових каналів зв'язку.

Крок 2. Визначають просторові координати всіх ПК_{*i*}, що знаходяться в Q , на базі інформації від супутникових та радіолокаційних систем.

Крок 3. Задають для кожного ПК_{*i*} умовні зони невизначеності, що представляють собою частину простору навколо ПК, територія якої не може бути порушена жодним ПК. Зони невизначеності ПК визначають найменші допустимі відстані для зближення літаків протягом польоту та є вихідними даними для визначення наявності КС. Розмір захисної зони ПК є функцією вигляду: $R_{zn} = f(P_{def}, \hat{Y})$, де R_{zn} – радіус зони невизначеності; P_{def} – похибка при визначенні місцеположення ПК; \hat{Y} – динамічні характеристики ПК.

Крок 4. Розраховують прогнозовані траєкторії руху кожного ПК та визначають наявність їх перетину в кожний момент часу t_i . При виявленні можливої загрози зіткнення ПК_{*i*} визначають відстань та час до зіткнення. Відбувається обмін просторовими координатами, швидкістю руху V_i , висотою H_i та курсом ψ_i , необхідними для проведення прогнозування та побудови траєкторій їх можливого руху в кожний момент часу t_i .

Крок 5. Визначають ПК, що мають «особливий пріоритет» в КС (аварійні ПК, військові ПК та інші), яким надається «зелений коридор» руху.

Крок 6. Для кожного ПК_{*i*} розраховують області керованого стану, які засновані на врахуванні всіх аеродинамічних характеристик ПК.

Крок 7. Порівнюють між собою отримані області керованого стану ПК_{*i*} за допомогою математичних алгоритмів та методів моделювання. На основі аналізу визначають керуючі характеристики конкретного ПК, який буде мати найбільший запас по керуванню: $\Sigma U_i = \Sigma U_i(\gamma), U_i(V), U_i(v)$, де U_i – загальний запас по керуванню ПК_{*i*}; $U_i(\gamma)$ – загальний запас по керуванню креном; $U_i(V)$ – загальний запас по керуванню швидкістю; $U_i(v)$ – загальний запас по керуванню тангажем. Також, визначають наявний запас по керуванню

ПК_{*i*} в поточний момент часу: $\Delta U_i = U_i - U_i^t$, де ΔU_i – наявний запас по керуванню ПК_{*i*}; U_i^t – використаний запас по керуванню ПК_{*i*} на момент часу t .

Крок 8. Визначають порядок пріоритетності ПК: маневр ухилення повинен виконувати той ПК, який має найбільший наявний запас по керуванню, однак, якщо цього недостатньо маневр ухилення повинні виконувати й інші ПК у порядку пріоритетності.

Крок 9. Розраховують необхідні траєкторії маневру ухилення. Тип маневру визначають на основі областей керованого стану за наявними запасами по керуванню в кожний момент часу. ПК із найбільшим наявним запасом отримує найвищий пріоритет у виконанні маневру: $M_i = \max[\Delta U_i(\gamma), \Delta U_i(V), \Delta U_i(v)]$, де M_i – критерій пріоритетності ПК_{*i*} в КС. Для вибору алгоритму розв’язання КС та маневру ухилення використовують базу даних загальних правил ухилення ПК. Враховують умову глобального оптимуму по критерію мінімального відхилення ПК_{*i*} від початкових траєкторій руху. Цей інтегральний показник характеризує відхилення ПК від початкових планів польоту, а саме, площу необхідного маневру $S = \int_{x_0}^{x_k} |y_0(x) - y_k(x)| dx$, де $y_0(x)$, $y_k(x)$ – початкова і змінена лінія шляху літака на площині, x_0, x_k – координати точки початку і кінця маневру.

Крок 10. Розраховують траєкторії повернення ПК_{*i*} на початкові траєкторії руху по завершенню маневру ухилення.

Розроблений метод має циклічний характер реалізації та виконується постійно у масштабі реального часу на кожному ПК_{*i*} в процесі його руху. В процесі виконання маневру та по його завершенню відбувається постійний розрахунок нових траєкторій руху ПК_{*i*} для аналізу виникнення нових можливих КС. Якщо розв’язання поточної КС спричиняє виникнення нової загрози, то метод виконується починаючи з пункту 7 алгоритму.

Запропонований метод розв’язання КС ПК використовує обчислення областей керованого стану кожного ПК, що характеризують запас по керуванню та надають можливість оптимізувати дію методу, визначає ПК для виконання маневру ухилення, в залежності від областей керованого стану всіх ПК в зоні конфлікту, розраховує зони невизначеності.

Третій розділ містить опис розробленої підсистеми для гарантованого розв’язання динамічного конфлікту ПК у масштабі реального часу, який включає структурно-функціональну схему, блок-схему алгоритму та структурну схему компонентів. Описано особливості роботи комп’ютерної програми моделювання (рис. 2) та описано базу правил для розв’язання КС ПК, що заснована на врахуванні зон невизначеності ПК та побудові діаграм Ейлера-Венна. Для кожного правила вирішення КС наведено математичну логіку у предикативній формі та у вигляді алгебри логіки.

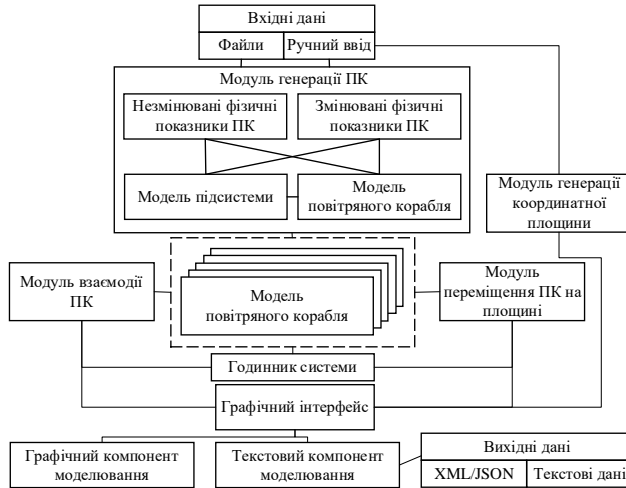


Рисунок 2 – Структура комп’ютерної програми моделювання підсистеми розв’язання динамічного конфлікту ПК

При моделюванні кожен ПК має модель підсистеми у вигляді апаратних та програмних елементів. Повна реалізація підсистеми дозволяє оцінити часові та апаратні витрати під час руху та взаємодії ПК на площині. В першу чергу створюється екземпляр моделі координатної площини, яка містить згенеровані координати розташування кожного ПК та координати після кожного такту моделювання. Кожен такт модель ПК оновлює свої поточні координати на моделі площини та за допомогою систем зв’язку передає їх ПК та наземним диспетчерським пунктам у радіусі дії. Алгоритми фізичного руху ПК закладено у модулі переміщення. Під час моделювання цей модуль перевіряє можливість руху ПК згідно заданої траєкторії, взаємодіючи із моделлю підсистеми або системою попередження зіткнення літаків у повітрі (TCAS) кожного ПК. У разі високої ймовірності КС, модуль переміщення змінює траєкторію руху ПК на основі інформації, яку він отримує.

Необхідною складовою запропонованого в дисертаційній роботі методу є база правил розходження ПК в динамічній КС, які були побудовані за діаграмами Ейлера-Венна з накладенням зон невизначеності ПК під час КС. Захисні зони ПК відображаються у вигляді секторів, що також враховують зони невизначеності положення ПК. Область перетину захисних зон декількох ПК є зоною КС. В основі створення правил розходження лежить побудова і порівняння областей керованого стану ПК. Для кожного окремого випадку КС ці правила будуть мати свої характерні особливості. Однак правила передбачені також і для випадків, коли побудова областей керованого стану не

є можливою з яких-небудь причин або ці області будуть однакові.

На рисунку 3(а) показано розв'язання КС двох ПК, що рухаються на одному ешелоні з попутним курсом, за розробленою базою правил. На основі аналізу областей керованого стану перевагу в КС має той ПК, чия швидкість менша; в разі якщо один ПК наздоганяє другий необхідно здійснити обгін справа попередньо набравши висоту для відходу від супутнього сліду. Приклад розходження ПК по даному правилу показаний на рисунку 3(б).

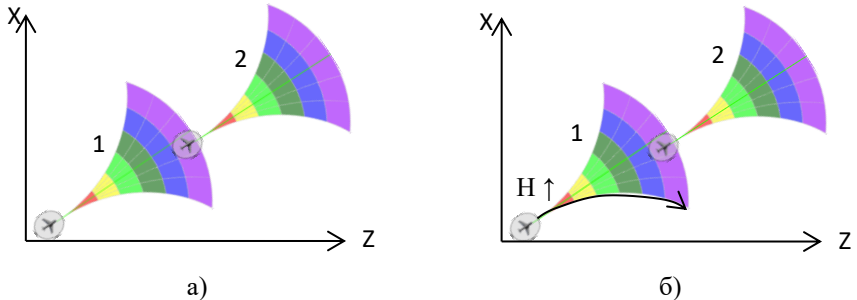


Рисунок 3 – Приклад можливої КС двох ПК:

а) початковий стан; б) розходження за правилом областей керованого стану

Процес розв'язання КС можна представити у вигляді алгебри логіки:
if $S_1(x, y, z) = S_2(x, y, z)$ *and* $H_1 = H_2$ *and* $\psi_1 = \psi_2$ *and* $\theta_1 = \theta_2 = 0$ *and* $V_1 > V_2$ *then* {S1 та S2 летять прямо попутними курсами і перетинаються в координатах (x, y, z) в час t } *and then* {S1 повинен змінити ψ_1 відхилившись вправо, попередньо збільшивши H_1 },

де S_1 та S_2 – літак 1 та літак 2; (x, y, z) – просторові координати положення літаків у час t ; ψ_1 та ψ_2 – курси літаків; V_1 та V_2 – швидкості літаків; θ_1 та θ_2 – кут нахилу траєкторії літаків; H_1 та H_2 – висота літаків.

У **четвертому розділі** наводяться результати моделювань розроблених методів інформаційної технології розв'язання КС ПК. Показано методичну оцінку ефективності функціонування запропонованих алгоритмів розв'язання КС ПК, що проводилася з використанням типових дослідних сценаріїв, починаючи від простих конфліктів між двома ПК до гранично складних, за участі в одному конфлікті значного числа ПК.

Моделювання розв'язання тривимірних КС за участю п'яти, чотирьох, трьох та двох літаків проводилося в середовищі MatLab. Для порівняння спочатку використовувався алгоритм роботи системи TCAS, після чого виконувався розроблений метод розв'язання КС. При моделюванні системи TCAS конфлікт п'яти літаків було успішно вирішено, однак виникло два нових конфлікти. Розробленим методом цей конфлікт було успішно вирішено без створення нових КС, що є важливою перевагою в забезпеченні гарантованого розходження літаків (рис. 4).

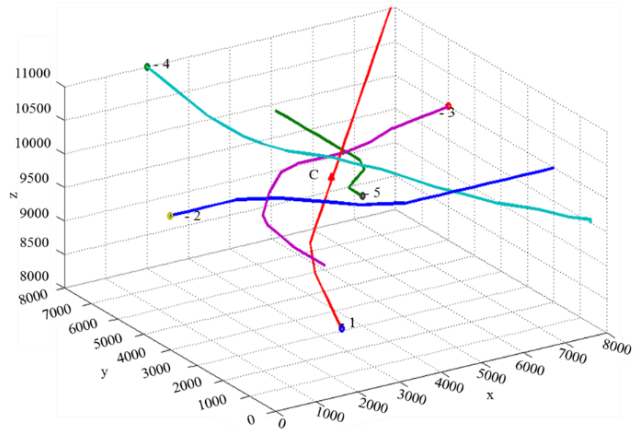


Рисунок 4 – Модель розходження п'яти літаків у конфліктній ситуації за запропонованим в дисертаційній роботі методом

Для порівняння зміни маршруту польоту кожного з літаків при виконанні маневру, була визначена довжина маршруту по початковій траєкторії, траєкторії з виконанням маневру за запропонованим методом для розв'язання КС і визначена різниця в цих маршрутах. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зміна довжин маршрутів літаків від маневрування у КС

Літак №	Планова довжина маршруту, м	Змінена довжина маршруту після маневру, м	Різниця, м
1	8000	8680	680
2	8520	9130	610
3	10780	10780	0
4	10030	10840	810
5	9380	9600	220

Згідно бази правил розходження пріоритетним було обрано літак 3. Довжина його траєкторії не змінювалася. В точці конфлікту С відносно цього літака методами розробленої інформаційної технології траєкторії чотирьох інших ПК були змінені. В середньому довжина маршруту після маневру зросла на 580 метрів відносно планової довжини.

В додатках до роботи подано: параметри руху літаків Boeing 767 та Airbus A321 у КС, правила розв'язання КС ПК за діаграмами Венна, тактико-технічні характеристики літака Boeing 767-300 та літака Airbus A321-100/200, список публікацій здобувача за темою дисертації, акти про впровадження та

можливість використання інформаційної технології, патенти, дипломи, авторські права.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

В дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-технічну задачу підвищення безпеки польотів в авіації шляхом забезпечення гарантованого рівня безпеки під час попередження зіткнень повітряних кораблів (ПК). Запропоновано інформаційну технологію управління динамічними конфліктними ситуаціями (КС) ПК, яка призначена для запобігання появі та гарантованого розв'язання КС ПК. Технологія здатна в автоматичному режимі визначати місце розташування ПК, отримувати дані про їх курс, висоту і швидкість, оцінювати ймовірність перетину траєкторій руху і оперативно видавати коригувальні сигнали для параметрів руху ПК при КС. Оцінка ймовірностей, робота коригувальних алгоритмів може відбуватися як в наземних центрах управління повітряним рухом, так і на борту ПК.

В ході виконання дисертаційної роботи отримано такі результати, висновки та рекомендації:

1. Здійснено аналіз існуючих методів розв'язання КС ПК в умовах польотів за довільними маршрутами, а також сформульовано математичну та технічну постановку задачі розв'язання динамічних конфліктних ситуацій ПК.

2. Наведено критичний аналіз з висновками основних сучасних теоретичних та практичних інформаційних технологій, методів і систем попередження зіткнень ПК в повітрі; висвітлено огляд теорії диференціальних ігор та управління строєм літальних апаратів з позиції попередження зіткнень ПК; показано, що зазначені теорії мають суттєві обмеження та функціональні недоліки, що ускладнює їх застосування у проблемі розв'язання КС ПК.

3. Запропоновано нову інформаційну технологію розв'язання КС ПК, що спрямована на синтез команд управління для ПК в умовах виявлених конфліктів, які забезпечують, в загальному випадку, просторовий маневр ухилення з метою запобігання можливого небезпечного зближення ПК, а після розв'язання конфлікту – забезпечують повернення ПК на планову траєкторію і її подальше витримування; при цьому в процесі синтезу команд враховуються критерії оптимальності мінімального відхилення від початкових траєкторій.

4. Вперше розроблено метод розв'язання динамічних КС ПК у масштабі реального часу, який враховує зони невизначеності положення ПК, області керованого стану літака та використовує алгоритми вибору типу маневру з встановленням пріоритетності літаків в зоні конфліктної взаємодії.

5. Вперше розв'язано задачу уникнення динамічних КС ПК методом, який враховує глобальний мінімум відхилення ПК від початкових траєкторій; відмінністю від існуючих підходів є алгоритм пошуку оптимальної траєкторії маневрування з забезпеченням гарантованого рівня безпеки.

6. Запропоновано використовувати для методу розв'язання КС ПК обчислення областей керуваного стану кожного ПК, які характеризують запас по керуванню та надають можливість оптимізувати роботу методу.

7. Розроблено базу правил розходження для роботи підсистеми по вирішенню КС ПК, що заснована на врахуванні зон невизначеності ПК та побудові діаграм Ейлера-Венна. Наведено математичну логіку дії бази при вирішенні КС у предикативній формі та у вигляді алгебри логіки.

8. Забезпечено прогнозування стану та динаміки польоту ПК у масштабі реального часу (із забезпеченням системної та функціонально-часової сумісності) шляхом розробки синтезованої моделі динамічного руху ПК та врахування розподіленого середовища управління.

9. Проведено верифікації розробленої інформаційної технології шляхом комп'ютерного моделювання; наведено методичну оцінку ефективності функціонування запропонованих алгоритмів розв'язання КС ПК, що проводилася з використанням типових дослідних сценаріїв, починаючи від простих конфліктів між двома ПК до гранично складних, за участі в одному конфлікті значного числа ПК.

10. Синтезовано модель підсистеми управління КС ПК; підсистема реалізується у вигляді окремого уніфікованого обладнання, що працює з використанням супутникових та радіолокаційних систем навігації і забезпечує визначення координат ПК у масштабі реального часу; передбачено, що підсистема має бути встановлена на всі ПК та інтегрована в їх бортову мережу для належного забезпечення її функціональності та взаємодії з бортовим обладнанням ПК.

11. Розроблена в дисертаційній роботі інформаційна технологія розв'язання динамічних КС ПК забезпечує розходження одного ПК відносно іншого на допустимій відстані в умовах складних конфліктів, що включають велику (до 50) кількість ПК та при гранично складній геометрії конфлікту.

12. Набула подальшого розвитку концепція децентралізованого управління рухом ПК, яка відрізняється від існуючих розподіленою системою керування в часі і просторі, що забезпечує належну організацію повітряного руху в умовах збільшення інтенсивності польотів та переходу на нові концепції управління повітряним рухом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях:

1. Pavlov V.V., Volkov O.Ye., Voloshenyuk D.O. Computer simulation of modern aircrafts by using network technologies of remote control: стаття. Київ: Proceedings of the National Aviation University: science journal: 2013. №4. P. 18-22. (Google Scholar, Web of Science)

2. Павлов В.В., Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Сетцентрическая система управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления воздушными кораблями: стаття. Київ: Управляющие системы и машины, 2014. №5. С. 13-23. (Google Scholar, Web of Science)
3. Melnikov S.V., Volkov O.Ye., Komar M.M., Voloshenyuk D.O. Network-centric control technology of data transfer by network communications: article. Kyiv: Cybernetics and Computer Engineering, 2016. №186. P. 46-55. (Google Scholar, Web of Science)
4. Павлов В.В., Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Концепция сетцентрического управления посадкой самолетов по свободным траекториям с технологией решения конфликтных ситуаций: статья. Київ: Кибернетика и вычислительная техника, 2014. №178. С. 36-51. (Google Scholar, Web of Science)
5. Павлов В.В., Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Инвариантная сетцентрическая система управления конфликтными ситуациями воздушных кораблей на этапе захода на посадку: стаття. Київ: Кибернетика и вычислительная техника, 2015. №180. С. 45-65. (Google Scholar, Web of Science)
6. Pavlova S.V., Volkov O.Ye. System of guaranteed resolution of dynamic conflicts of aircrafts in real time: стаття. Kyiv: Proceedings of the National Aviation University: scientific journal: 2017. № 1. P. 29-35. (Google Scholar, Web of Science)
7. Павлова С.В., Волков О.Є. Моделирование инвариантного метода разрешения динамических конфликтов воздушных судов: статья. Київ: Кибернетика и системный анализ, 2017. №53. С. 105-112. (SCOPUS, Google Scholar, Web of Science)
8. Волков О.Є. Инвариантный метод разрешения динамических конфликтов воздушных судов: статья. Київ: Управляющие системы и машины, 2017. №3. С. 73-79. (Google Scholar, Web of Science)
9. Волков О.Є., Павлова С.В. Конфліктна взаємодія повітряних кораблів при попередженні загроз зіткнення: стаття. Київ: Управляющие системы и машины, 2017. № 4. С. 83-91. (Google Scholar, Web of Science)

Тези матеріалів конференцій:

10. Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Комп'ютерне 3D-моделювання сучасних літальних апаратів для проведення аеродинамічних досліджень: тези. Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки: Всеукраїнська наукова конференція, 27-31 травня 2013. м. Чернівці. – С. 53-54. (заочна участь).
11. Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Застосування комп'ютерного моделювання в розробці авіаційних систем посадки та попередження зіткнення повітряних кораблів: тези. ІМТ-2014: всеукраїнська науково-практична конференція «Інформаційні та Моделюючі Технології» 29-31 травня 2014 р. м. Черкаси, 2014. – С. 53. (онлайн-доповідь).
12. Павлов В.В., Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Системи віддаленого

керування динамічними об'єктами на базі розподілених мережецентрованих систем і комплексів: тези. Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: XI Міжнародна науково-практична конференція, 20-22 листопада 2013 р. м. Дніпропетровськ, 2013. С. 183-184. (заочна участь).

13. Волков О.Є., Волошенко Д.О. Ергатична мережецентрична система керування конфліктною ситуацією літаків на етапі посадки: тези. Комп'ютерні системи та мережні технології: VII Міжнародна науково-технічна конференція, 17-19 квітня 2014 р. м. Київ, 2014. С. 35. (секційна доповідь).

14. Волков О.Є., Волошенко Д.О. Эргатическая сетевая система управления посадкой воздушных кораблей по свободным траекториям в конфликтных ситуациях: тези. ПРТК-2014: Сьома міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси», 19-20 травня 2014 р. м. Київ, 2014. С. 40-42. (секційна доповідь).

15. Волков О.Є. Подход к решению проблемы предупреждения столкновения воздушных кораблей в условиях полётов по произвольным маршрутам: тези. Проблемы информатики и моделирования: XVI Международная конференция, 12-16 сентября 2016 р. м. Одесса, 2016. С. 16. (заочна участь).

16. Волков О.Є., Комар М.М., Волошенко Д.О. Перспективные системы контроля передачи информационно-коммуникационных данных в сети на основании применения сетевых технологий: тези. Актуальні задачі сучасних технологій: IV Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2015 р. м. Тернопіль, 2015. С. 9-10. (секційна доповідь).

17. Волков О.Є., Комар М.М., Волошенко Д.О. Мережецентричні технології контролю якості роботи мережі передачі даних: тези. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Науково-практична конференція, 10-11 березня 2016 р. м. Київ, 2016. С. 27. (пленарна доповідь).

18. Волков О.Є. Сетевая система управления конфликтными ситуациями воздушных кораблей на этапе взлета и посадки: тези. Актуальные вопросы образования и науки: Международная заочная научно-практическая конференция, 30.09.2014 г. г. Харьков, 2014. С. 20-21. (заочна участь).

19. Волков О.Є., Павлов В.В. Сетевая инвариантная система решения конфликтных ситуаций воздушных кораблей на этапе взлета и посадки: тези. Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування України: I Всеукраїнська науково-технічна конференція, 11-12 грудня 2014 р. м. Харків, 2014. С. 118-119. (стендова участь).

20. Волков О.Є., Павлов В.В., Волошенко Д.О., Комар М.М. Новые подходы к обеспечению безопасности полетов путем интеллектуализации систем автоматического управления: тези. Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки – 2015: IV міжнародна науково-практична конференція,

26-29 травня 2015 р. м. Чернівці, 2015. С. 55-57. (заочна участь).

21. Волков О.Є., Волошенюк Д.О. Способ предотвращения столкновений воздушных судов в масштабе реального времени на этапе посадки: тези. Інформаційні та моделюючі технології: Всеукраїнська науково-практична конференція, 28-30 травня 2015 р. м. Черкаси, 2015. С. 38. (секційна доповідь).

22. Волков О.Є. Технологія попередження зіткнень повітряних кораблів в масштабі реального часу: тези. Проблеми навігації і управління рухом: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і студентів, 23-25 листопада 2015 р. м. Київ, 2015. С. 8. (пленарна доповідь).

23. Волков О.Є. Технологія попередження зіткнень повітряних кораблів в динамічному конфлікті в масштабі реального часу: тези. Інформаційно-вимірювальні технології та системи: Науково-практична конференція, 15 жовтня 2015 р. м. Київ, 2015. С. 10. (пленарна доповідь).

24. Волков О.Є. Применение теории нелинейной инвариантности в проблеме решения конфликтных ситуаций воздушных судов: тези. Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування: II Всеукраїнська науково-технічна конференція, 10-11 грудня 2015 р. м. Харків, 2015. С. 127-128. (заочна участь).

25. Волков О.Є. Технологія вирішення конфліктних ситуацій повітряних кораблів на базі інваріантної мережецентричної системи: тези. Інформаційні технології в освіті, науці й техніці: III Міжнародна науково-практична конференція, 12-14 травня 2016 р. м. Черкаси, 2016. С. 55-56. (заочна участь).

26. Волков О.Є., Павлова С.В. Метод інваріантного управління конфліктними ситуаціями воздушних судов: тези. Актуальні проблеми розвитку освіти і науки в умовах глобалізації: II Всеукраїнська наукова конференція, 28-29 жовтня 2016 р. м. Дніпропетровськ, 2016. С. 280-283. (секційна доповідь).

27. Волков О.Є., Павлова С.В. Метод гарантированного разрешения динамических конфликтных ситуаций воздушных судов в масштабе реального времени: тези. Сучасні інформаційні технології 2017: VII Міжнародна наукова конференція, 22-24 травня 2017 р. м. Одеса, 2017. С. 65-66. (секційна доповідь).

Патенти України та свідоцтва про реєстрацію авторського права:

28. Волков О.Є., Павлов В.В., Волошенюк Д.О. Комп'ютерна програма «Моделювання польоту літака на базі ергатичної мережецентричної системи керування»: свідоцтво про реєстрацію авторського права №56158 Україна, опубл. 20.08.2014.

29. Волков О.Є., Павлов В.В. Комп'ютерна програма попередження зіткнень рухомих об'єктів в динамічному конфлікті в масштабі реального часу: свідоцтво про реєстрацію авторського права №61656 Україна, опубл. 14.09.2015.

30. Павлов В.В., Волков О.Є. Спосіб та пристрій попередження зіткнень рухомих об'єктів в динамічному конфлікті в масштабі реального часу: патент на

винахід 116561 Україна: МПК G05B1/00, G05B15/00, G05B17/00, G06F9/00, G06N7/00, G08G5/00. № 201510016; заявл. 13.10.2015; опубл. 10.04.2018, Бюл. №7. 17с.

31. Павлов В.В., Волков О.Є. Спосіб попередження зіткнень рухомих об'єктів в динамічному конфлікті в масштабі реального часу: патент на корисну модель 106765 Україна: МПК G05B1/00; G05B15/00; G05B17/00; G06F9/00; G06N7/00; G08G5/00. №201510017; заявл. 13.10.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9. 12 с.

32. Павлов В.В., Волков О.Є. Пристрій попередження зіткнень рухомих об'єктів в динамічному конфлікті в масштабі реального часу: патент на корисну модель 106766 Україна: МПК G05B1/00, G05B15/00, G05B17/00, G06F9/00, G06N7/00. №201510019; заявл. 13.10.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9. 9 с.

33. Гриценко В.І., Волков О.Є. Спосіб оптико-акустичної пеленгації та групової протидії ворожим безпілотним літальним апаратам : патент на винахід 119692 Україна: МПК F41H 11/02, G01P 13/00, G01S 3/00, G01S 5/20, G01S 15/00, G01S 17/00, G05B 13/00, G05D 1/10, G05D 1/12, B64C 39/02. №201707122; заявл. 06.07.2017; опубл. 25.07.2019, бюл. № 14.

АНОТАЦІЯ

Волков О.Є. Інформаційна технологія управління динамічними конфліктними ситуаціями повітряних кораблів у масштабі реального часу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології – Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, Київ, 2021.

В дисертаційній роботі запропоновано інформаційну технологію управління конфліктними ситуаціями повітряних кораблів, яка заснована на мережецентричних, інваріантних і адаптивних технологіях та теоріях. Основним призначенням є якісне розв'язання і запобігання можливих конфліктних ситуацій повітряних кораблів. Система автоматичному режимі визначає місце розташування повітряних кораблів, отримує дані про їх курс, висоту і швидкість, оцінює ймовірність перетину траєкторій руху і, в разі загрози можливого зіткнення, оперативно видає коригувальні сигнали для параметрів руху повітряних кораблів. Оцінка ймовірностей, робота коригувальних алгоритмів та визначення літака рух якого необхідно корегувати може відбуватися на борту повітряного корабля.

В дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-технічну задачу підвищення безпеки польотів в авіації шляхом забезпечення гарантованого рівня безпеки під час попередження зіткнень повітряних кораблів на базі розробки нової технології розв'язання динамічних конфліктних ситуацій

повітряних кораблів у масштабі реального часу.

Ключові слова: авіація, безпека польотів, інформаційна технологія, конфліктна ситуація, маневр ухилення, повітряний корабель, попередження зіткнень.

ABSTRACT

Volkov O.Ye. Information technology for real time control of aircraft dynamic conflict situations. – Graduate qualification work printed as the manuscript.

Thesis for a Candidate of Sciences degree (Technical) [Ph. D.] in specialty 05.13.06 – Information Technologies – International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems of the National Ukrainian Academy of Systems and the Ministry of Science and Education of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to developing information technology for controlling aircraft conflict situations based on network-centric, invariant and adaptive technologies and theories. Its main purpose is to qualitatively resolve and prevent possible conflicts between aircraft. The system can automatically determine the location of aircraft, obtain data on their course, altitude and speed, assess the probability of trajectories intersection and, in case of a possible collision threat, quickly issue corrective signals for aircraft movement parameters. Estimation of probabilities, executing correction algorithms and determination of the aircraft (the movement of which needs to be corrected) according to the “importance” criterion can take place on-board. A new method of resolving aircraft conflicts in real-time has been developed, and algorithms for its operation have been developed. An algorithm for determining the priority aircraft, the trajectory of which will not change in the event of a critical situation, an algorithm for determining the aircraft that should change the trajectory of the emergency.

A method of resolving dynamic aircraft conflict situations in real-time is proposed, which takes into account the areas of the uncertainty of the aircraft position, areas of the controlled state of the aircraft and uses algorithms for selecting the type of maneuver to prioritize aircraft in the conflict zone. The method that takes into account the global minimum deviation of aircraft from the initial trajectories; The difference from the existing approaches is the algorithm for finding the optimal maneuvering trajectory with a guaranteed level of safety. Real-time predicting of the state and dynamics of aircraft flight is provided by developing a dynamic aircraft movement model and taking into account the distributed control environment.

The model of the subsystem for managing aircrafts’ conflict situations is synthesized; which works with satellite and radar navigation systems and provides determination of aircraft coordinates in real-time. It is envisaged that the subsystem should be installed on all aircraft and integrated into their on-board network to properly ensure its functionality and interaction with on-board navigation systems. A database for the operation of the subsystem for resolving aircraft conflict

situations, based on the aircraft uncertainty zones and the construction of Euler-Venn diagrams, is presented. The mathematical logic of database operation in solving critical situations in predicative form and the form of logic algebra is given.

The thesis solves an important scientific and technical problem of improving flight safety in aviation by providing a guaranteed level of safety in the prevention of aircraft collisions based on the development of new technology real-time solving of dynamic conflict situations among aircraft.

Key words: aviation, flight safety, information technology, conflict situation, evasive maneuver, aircraft, collision avoidance.

АННОТАЦИЯ

Волков А.Е. Информационная технология управления динамическими конфликтными ситуациями воздушных судов в масштабе реального времени. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.06 – Информационные технологии – Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев, 2021.

В диссертационной работе предложена информационная технология управления конфликтными ситуациями воздушных судов, которая основана на сетцентрических, инвариантных и адаптивных технологиях и теориях. Основным ее назначением является качественное решение и предотвращение возможных конфликтных ситуаций воздушных кораблей. Система способна в автоматическом режиме определять местоположение воздушных судов, получать данные про курс, высоту и скорость, оценивать вероятность пересечения траекторий движения и, в случае угрозы возможного столкновения, оперативно выдавать корректирующие сигналы для параметров движения воздушных судов. Оценка вероятностей, работа корректирующих алгоритмов и определения самолета (движение которого необходимо корректировать) по критерию «важности» может происходить на борту воздушного корабля.

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача повышения безопасности полетов в авиации путем обеспечения гарантированного уровня безопасности полетов на базе разработки новой технологии решения динамических конфликтных ситуаций воздушных судов в масштабе реального времени.

Ключевые слова: авиация, безопасность полетов, информационная технология, конфликтная ситуация, маневр уклонения, воздушное судно, предупреждение столкновений.