



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)  
(МГТУ ГА)

ИРКУТСКИЙ ФИЛИАЛ МГТУ ГА  
(ИРКУТСКИЙ ФИЛИАЛ МГТУ ГА)

ул. Коммунаров, д. 3, г. Иркутск, 664047  
Тел. (3952) 54-43-98, факс (3952) 54-43-98  
e-mail: post\_office@if-mstuca.ru

Проректору по научной работе  
д. т. н., профессору  
Ю. А. Равиковичу

Волоколамское ш., д. 4, Москва, 125993

17.09.2021 № 626

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента д. т. н., доцента Ерохина Вячеслава Владимировича на диссертационную работу Будкова Александра Сергеевича на тему «Разработка системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации в гражданской авиации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки).

Приложение:

1. Отзыв официального оппонента Ерохина В. В. на диссертацию Будкова А. С. в 2 экз. на 6 л.

С уважением,  
Заместитель директора  
Иркутского филиала МГТУ ГА

А. В. Булдаков

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

Вх. № 24-09-2021

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Будкова Александра Сергеевича  
**«Разработка системы поддержки принятия решения для задачи  
четырёхмерной навигации в гражданской авиации»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (технические науки)

### Актуальность темы диссертации

Постоянный рост объема авиаперевозок и интенсивности воздушного движения приводит к необходимости совершенствования концепции организации и использования аэронавигационного пространства. В соответствии с глобальным аэронавигационным планом ИКАО одним из главных ожидаемых результатов модернизации аэронавигационной системы является возможность глобального управления четырёхмерными маршрутами.

Для решения задачи четырехмерной оптимизации маршрутов требуется модернизация не только наземной аэронавигационной инфраструктуры, но и модификация существующих комплексов бортового оборудования. При этом необходимо учитывать, что постоянный рост функционала бортовых систем приводит к усложнению процесса принятия решения экипажем в нештатной ситуации, что касается и задачи четырёхмерной навигации. Диссертационная работа Будкова А. С. направлена на разработку системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации, которая нацелена на повышение уровня безопасности полётов за счёт автоматизации оперативного бортового планирования четырёхмерных маршрутов.

### Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав с выводами, заключения, списка сокращений и условных обозначений, а также списка литературы. Общий объём работы составляет 168 страниц, содержит 63

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

Вх. №  
27 09 2021 г.



рисунка и 11 таблиц, включает 80 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи работы, определяются объект и предмет исследования, а также приведён обзор результатов исследований по рассматриваемой тематике.

В первой главе проведен анализ основного функционала современных систем самолётОВОЖДЕНИЯ, а так же выполнен детальный анализ принципа работы функции контроля времени прибытия в заданную точку маршрута, которая является ключевой в части задачи четырёхмерной навигации. В результате анализа данной функции автором были выявлены её функциональные недостатки, которые в свою очередь были сформулированы в качестве функциональных требований к разрабатываемой им системе поддержки принятия решения.

Во второй главе автором была разработана архитектура системы поддержки принятия решения, которая обеспечивает достижение предъявляемых к ней функциональных требований. Для каждой функции системы поддержки принятия решения Будков А. С. разработал методическое и математическое обеспечения. В частности, для решения задачи поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов автор определил критерии оптимизации и обосновал выбор алгоритма поиска пути на графе A-star.

В третьей главе Будков А. С. для разработанного во второй главе методического и математического обеспечения представил результаты реализации программно-алгоритмического обеспечения, которое построил по модульному принципу в соответствии разработанной архитектурой системы поддержки принятия решения. В ходе тестирования разработанного программного обеспечения Будков А. С. продемонстрировал его работоспособность и подтвердил адекватность полученных результатов.

В четвертой главе Будков А. С. представил результаты проведенных экспериментов, направленных на оценку эффективности предлагаемого им подхода к решению задачи поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов, а именно демонстрации следующих преимуществ:

1. Использования выбранных в работе критериев оптимизации при решении задачи поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов по отношению к критерию минимума длины маршрута в условиях влияния ветровой обстановки, наличия ограничений воздушного пространства и т.д.

2. Построения трехмерной траектории движения без разделения горизонтального профиля от вертикального по отношению к подходу с разделением расчета сначала горизонтального профиля, а затем вертикального на основе горизонтального.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна и теоретическая значимость диссертационной работы заключаются в оригинальном решении задачи поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов. Для этого подхода используется целевая функция стоимости маршрута, которая модифицирована для применения алгоритма A-star.

Наиболее значимые положения научной новизны работы заключаются в следующем:

- 1) предложена архитектура системы поддержки принятия решения, обеспечивающая выполнение функции поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов для сформулированных критериев оптимизации;

- 2) разработаны алгоритмическое и методическое обеспечения оптимизации четырехмерных маршрутов полета;

3) предложена методика, определяющая порядок поиска четырехмерных маршрутов оптимальных в соответствии с выбранным критерием.

### **Достоверность полученных результатов и практическая значимость**

Достоверность полученных результатов и практическая значимость исследования подтверждаются экспериментальной проверкой и актами о внедрении в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу «Разработка бортового радиоэлектронного оборудования для семейства магистральных самолетов МС-21 (МС-21-200 и МС-21-300, с двигателями PW-1400 и ПД-14)» филиала ПАО «Корпорация «Иркут» «Центр комплексирования» и учебный процесс кафедры 703 МАИ.

### **Замечания**

1. В соответствии с предложенной архитектурой система поддержки принятия решения взаимодействует с базой данных лётно-технических характеристик (БД ЛТХ), системой самолётовождения и источниками метеорологической и аэронавигационной информации. При этом, в диссертационной работе приведено только описание взаимодействия с БД ЛТХ.

2. Указано, что разработанная система поддержки принятия решения должна иметь человеко-машинный интерфейс (например, реализованный в формате отдельного окна, интегрированного в существующие графические интерфейсы систем самолётовождения), но при этом не приведено ни одного примера интеграции.

3. В диссертационной работе критерий минимизации ошибки по времени прибытия имеет высший приоритет, при этом в соответствии с подходом, принятым ИКАО, определяющим критерием является безопасность полетов. Из концепции приемлемого уровня безопасности следует, что маршрут должен быть построен таким образом, чтобы показатель безопасности полетов (риск столкновения) был не ниже заданного



уровня. При условии выполнения данного требования аэронавигационные данные маршрута при его создании могут варьироваться таким образом, чтобы улучшить значения остальных критериев: экономичности полетов, пропускной способности и пр.

4. При выполнении исследований по оценке эффективности алгоритмов поиска оптимального маршрута не рассматривались ситуации оптимизации при условии нахождения в ограниченной области аэронавигационного пространства нескольких воздушных судов.

5. На титульных листах рукописи диссертации и автореферата указаны разные шифры и наименования научных специальностей.

Указанные замечания не являются критическими и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

#### **Заключение**

Диссертационная работа Будкова Александра Сергеевича выполнена на высоком научном уровне, является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Текст автореферата диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы. Считаю, что диссертация соответствует всем требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Будков Александр Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки).

Официальный оппонент,

д. т. н., доцент,

профессор кафедры авиационного

радиоэлектронного оборудования,

Иркутский филиал федерального

государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования

«Московский государственный технический  
университет гражданской авиации» (МГТУ ГА)

В. В. Ерохин

Доктор технических наук, доцент,

Ерохин Вячеслав Владимирович,

Иркутский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Московский  
государственный технический университет гражданской авиации»,

профессор кафедры авиационного радиоэлектронного оборудования,

почтовый адрес: 664047, область Иркутская, г. Иркутск, ул. Коммунаров, д. 7

раб. тел.: +7 (3952) 54-43-98

e-mail: Ww\_erohin@mail.ru



Подпись работника Ерохина В.В.  
Заведующий ОК и ф. И.А. Бородин