

На правах рукописи



ГОРБУНОВ ВЛАДИМИР ПАВЛОВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ
АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА,
АРКТИКИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Специальность 2.9.6 – Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации» (ГосНИИ ГА)

Научный консультант:

Кузнецов Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой ТЭАЭС и ПНК,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический
университет гражданской авиации» (МГТУ ГА)

Официальные оппоненты:

Гузий Анатолий Григорьевич,

доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по управлению безопасностью
полетов, ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр»

Масленникова Галина Евгеньевна,

доктор технических наук,
профессор кафедры «Аэродинамика, динамика и
управление летательных аппаратов»,
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

Гладких Анатолий Афанасьевич,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Радиотехника,
телекоммуникации и защита информации»,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный технический
университет» (УлГТУ)

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное
учреждение «НИЦ «Институт им. Н. Е. Жуковского»

Защита диссертации состоится «21» мая 2025 года в 14.00 на заседании
диссертационного совета 42.2.001.01 при Московском государственном техническом
университете гражданской авиации по адресу: 125493, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический университет гражданской авиации» <http://www.mstuca.ru>

Автореферат разослан « » _____ 2025 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета 42.2.001.01
доктор технических наук, профессор



В. М. Самойленко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Авиационный транспорт является одной из важнейших отраслей, обеспечивающей успешное развитие экономики страны. Авиатранспортная отрасль является жизненно важным фактором интеграции регионов РФ, обеспечивающей авиатранспортную доступность и авиационную подвижность населения, играет важную роль в решении социально-экономических задач. В то же время отдаленные регионы Крайнего Севера и Арктики остаются труднодоступными и в настоящее время.

Задачи эффективного функционирования и создания перспектив развития транспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока формируются из приоритетных задач развития экономики и направлены на увеличение стратегического и экономического преимущества в этом важнейшем для страны регионе, что невозможно обеспечить без развитой авиатранспортной системы. Поэтому разработка методологии построения эффективной авиатранспортной системы регионов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока является актуальной и способствует решению важных государственных задач.

Возрастающее значение Дальнего Востока и острая необходимость дальнейшего развития Северного морского пути (СМП) требуют новых моделей формализации стратегического государственного планирования, развития научных основ и методов обеспечения исследований, в первую очередь эффективного функционирования и развития авиатранспортной системы. Новые геополитические приоритеты способствуют активному развитию науки о транспорте и транспортных системах, которые являются, по выводам Всемирного экономического форума (ВЭФ), ключевыми факторами успешных, социально ориентированных экономик. Важность реализации транспортной стратегии в отношении Дальнего Востока не раз была подчеркнута Президентом Российской Федерации В. В. Путиным на прошедшем ВЭФ во Владивостоке. Примером целенаправленной поддержки науки по вопросам эффективного функционирования транспортных систем является политика Правительства Российской Федерации. Так, Транспортная стратегия Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 года», предусматривает вложение значительных финансовых средств в реализацию приоритетных исследовательских проектов развития авиатранспортной системы. Данные приоритетные направления взяты за основу при формировании единой дальневосточной авиакомпания через создание альянса авиакомпаний с консолидированной маршрутной сетью, расписанием полетов, парка воздушных судов с приоритетным использованием воздушных судов отечественного производства, сетью организаций по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники альянса и системой его материально-технического обеспечения, что соответствует поручению Президента Российской Федерации от 14.01.2020 г. № Пр-36 («Внести предложение по созданию авиационной компании, эксплуатирующей воздушные суда российского производства, основной деятельностью которой будет осуществление перевозок пассажиров и грузов в Дальневосточном федеральном округе и в труднодоступных районах, определив потребность в воздушных судах с указанием их типов и пассажироместимости»), выполнение которого позволит решить задачи развития отечественного авиапрома, создания высококвалифицированных рабочих мест и линейки современных отечественных судов для работы в условиях Крайнего Севера и Арктики.

Реализация проекта создания единой дальневосточной авиакомпании по поручению Президента и Правительства РФ должна обеспечить рост коэффициента авиационной подвижности населения в сегменте местных и региональных авиаперевозок с нынешнего 0,35 до уровня среднероссийского 0,72, а включая все сегменты авиаперевозок, средние и дальнемагистральные, до среднего по стране показателя в 1,8. При этом, увеличение количества перевезенных пассажиров дальневосточников должно вырасти с 1 038 тыс. чел. в 2019 году до 2 030 тыс. чел. в 2025 году, с целевым показателем достижения ежегодной перевозки 4 000 тыс. чел. к 2030 году и до 158 миллионов в целом по стране.

Но за прошедшие три десятилетия авиатранспортная система страны значительно изменилась. Аэропортовая сеть страны сократилась до 228 действующих аэропортов. Наибольшее количество закрытых аэродромов и посадочных площадок пришлось на Арктические районы Крайнего Севера, что критически сказалось на технико-экономических условиях, оставшихся функционировать аэропортов. В крупнейшем государственном объединении «Аэропорты Севера», насчитывающем 32 аэропорта Крайнего Севера, в том числе и Арктической зоны Якутии и Чукотки, тарифы за взлет посадку выше до 10 раз по сравнению с аналогичными услугами в аэропортах европейской части страны. При этом, регламенты работы аэропортов не позволяют использовать их круглые сутки, ограничиваясь максимум двенадцатью часами в сутки или пятью восьмичасовыми рабочими днями в неделю, что значительно снижает эффективность использования самолетно-вертолетного парка немногочисленных местных авиакомпаний. Критически важной для эффективного функционирования авиатранспортной системы является процесс топливообеспечения труднодоступных районов Крайнего Севера и Арктики. Сложная логистика Северного завоза с многократными перевалками топлива (до 8–9 раз), сопровождаемая сменой видов транспорта, значительно, до двух раз, повышает стоимость доставленного в аэропорты Арктической зоны авиационного топлива, до двух раз по сравнению с центральной и европейской частью страны. В этой связи метод поиска решений оптимизации через экономико-математического моделирование факторов, формирующих стоимость завоза авиатоплива, представляется решением сложной задачи топливообеспечения, включая поиск альтернативного метода поставки топлива в удаленные аэропорты Арктической зоны. Кроме того, модернизация парков воздушных судов за счет создания и запуска в серийное производство новых образцов отечественной авиатехники значительно отстает от реальной потребности в обновлении и не отвечает вызовам сегодняшнего дня, тормозит комплексное развитие авиатранспортной системы как Крайнего Севера, Арктики так и авиатранспортной системы страны в целом.

В процессе поиска путей решения вышеуказанных задач и разработки методологии эффективного развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока выдвинута гипотеза исследования, в основе которой определены три важнейших проблемных составляющих авиатранспортной системы: «аэропорт-самолет-топливо», в совокупности формирующих около 75% финансовых затрат авиапредприятий, от эффективности функционирования которых напрямую зависит функционирование авиатранспортной системы.

Решение этих насущных проблем предполагает использование научных, методических, технологических, экспериментальных и системных исследований, направленных на разработку методов и практических решений по восстановлению и развитию инфраструктуры аэропортов, топливозаправочных комплексов, создание, обеспечение безопасной эксплуатации и поддержание летной годности, надежности современных ВС в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера, Арктики и всей авиатранспортной системы Дальнего Востока.

Степень разработанности темы исследования. Глубокие теоретические и практические исследования общей проблематики влияния эксплуатационных факторов на состояние парка ВС выполнены научно-исследовательскими институтами ГосНИИГА, ГосНИИАС, ЛИИ им. М. М. Громова и НИЦ им. Жуковского, под руководством, В. С. Шапкина, Р. В. Сакача, С. Ю. Желтова, А. В. Дутова и др. Решению задач поддержания летной годности, эксплуатационной технологичности, совершенствования процессов и процедур технической эксплуатации ЛА (летательных аппаратов) посвящена значительная часть работ ученых МГТУ ГА: В. Г. Воробьева, Е. Ю. Барзиловича, А. А. Ицковича, Н. Н. Смирнова, Ю. М. Чинючина, С. В. Кузнецова, С. П. Халютин и др.

Широко известны работы в части решения проблем, связанных с обеспечением безопасной эксплуатации ВС, сокращением влияния человеческого фактора в области безопасности полетов гражданской авиации в целом – труды Б. П. Елисеева, В. В. Воробьева, Б. В. Зубкова, В. Д. Кофмана, В. С. Красовского, Е. А. Куклева, Н. А. Махутова, Г. Н. Гипича, А. Г. Гузия.

Основы научно-практических подходов к решению проблемы влияния экстремальных условий и низких температур на эксплуатацию воздушных судов на Крайнем Севере, Сибири и в Арктике были заложены отечественными учеными, такими как А. Б. Круглов, К. М. Шпилев, В. М. Рухлинский и другие, представляющие ВВА им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина и МГТУ ГА.

В работах ученых, в частности, Б. С. Алешина, А. В. Дутова, Т. А. Акимова, А. А. Фридлянда, Н. С. Столярова и др. указано, что развитие авиатранспортной отрасли связано прежде всего с возможностями российской авиационной промышленности обеспечить рост производства современных воздушных судов.

Таким образом, учитывая кардинальные изменения в последние годы в функционировании и взаимосвязях авиапредприятий в условиях Крайнего Севера, Арктики, Дальнего Востока и современные направления исследований отечественных и зарубежных ученых, можно с уверенностью утверждать, что установление научно обоснованных принципов, закономерностей развития, а также разработка методологии построения и обеспечения эффективного функционирования авиатранспортных систем с позиции авиатранспортной доступности является актуальной проблемой.

Целью диссертационного исследования является решение научной проблемы построения эффективной авиатранспортной системы Дальнего Востока на основе разработанной методологии, охватывающей методы решения проблемы поддержания летной годности современных ВС в условиях низких и экстремально низких температур, формирования состава и структуры парка воздушных судов, аэродромной и маршрутной сети, повышения эффективности деятельности авиапредприятий, систем их материально-технического и топливного обеспечения.

Объект исследования. Объектом исследования является авиатранспортная система Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Предметом исследования выступают методики, методы, теоретические и практические подходы к поддержанию летной годности, формированию состава и структуры парка ВС, аэродромной и маршрутной сети, систем материально-технического обеспечения авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе определены следующие основные задачи:

- оценка состояния региональной авиации, аэродромной и маршрутной сети, флота дальневосточных авиакомпаний и перспектив их развития;
- изучение роли природных и антропогенных факторов в современном состоянии региональной авиации Арктики и Крайнего Севера;
- выполнение анализа авиатранспортной доступности на Крайнем Севере, Арктике и Дальнем Востоке с позиций предпосылок моделирования транспортных систем;
- моделирование развития ключевых составляющих авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- определение оптимального типоразмерного ряда ВС с использованием принципов параметрического моделирования и построения алгоритмов его оптимизации для условий эксплуатации в районах Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- разработка модели оптимизации парка ВС с определением потребного количества ВС, которые могут быть использованы как оптимальная линейка ВС при построении сценариев развития парка единой дальневосточной авиакомпании и центров ТОиР российской авиатехники в дальневосточном регионе;
- разработка методики формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- выполнение задачи оптимизации логистической схемы топливообеспечения на основе использования экономико-математического моделирования и корреляционно-регрессионного анализа, с обоснованием альтернативного метода;

- обоснование использования принципа декомпозиции операционных моделей аэропортов для анализа релевантных факторов их деятельности;
- формирование концепции стратегического развития и функционирования сети аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока с формированием стратегии построения сети маршрутов в условиях аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе топливно-экономического критерия;
- обоснование метода трансформации низкобюджетной бизнес-модели в дальнемагистральный сегмент авиаперевозок при решении проблемы авиатранспортной доступности Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- выполнение анализа эффективности направлений государственно-частного партнерства и определение перспективных подходов по привлечению механизмов государственно-частного партнерства при решении проблемы обеспечения эффективности авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- разработка и реализация методологии построения единой дальневосточной авиакомпании как комплексное решение проблемы построения эффективной авиатранспортной системы в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Впервые разработана методология построения эффективной авиатранспортной системы, позволяющей решать проблемы обеспечения авиатранспортной доступности в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе определения оптимальных соотношений между основными составляющими системы: парком воздушных судов, аэропортами, технико-технологическими ресурсами, экономико-организационными механизмами и логистикой материально-технического обеспечения.
2. Впервые, с помощью метода теплофизического моделирования, найдено решение проблемы эксплуатации и поддержания летной годности современных ВС с цифровым бортовым комплексом авионики в условиях экстремально низких температур.
3. С использованием принципов параметрического моделирования обоснован оптимальный типоразмерный ряд ВС в авиакомпаниях, который вносит согласованность в государственные и региональные программы стратегического планирования.
4. Получена модель оптимизации парка ВС, позволяющая определить требуемое количество ВС, которые могут быть использованы как оптимальная линейка ВС при построении сценариев развития парка единой дальневосточной авиакомпании и центров ТОиР российской авиатехники в дальневосточном регионе.
5. Разработана методика формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.
6. Используя математические методы, выполнено моделирование развития ключевых составляющих авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока как научная основа методологии создания единой дальневосточной авиакомпании.
7. Разработаны математические модели оценки эффективности авиатранспортной системы (АТС) Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе теории сложных сетей.
8. Впервые, с применением метода корреляционно-регрессионного анализа проведена оценка наиболее значимых факторов в решении задачи оптимизации транспортной схемы топливообеспечения в аэропорты Арктической зоны Крайнего Севера.
9. Предложен и обоснован альтернативный метод транспортировки авиационного топлива в удаленные аэропорты Крайнего Севера и Арктики с помощью танк-контейнеров.
10. Предложен стратифицированный подход к построению метода многоуровневого анализа, синтеза целей и функций каждой отрасли АТС, который, в отличие от существующих общих теоретических концепций, содержит параметры решения проблемы организации авиатранспортной доступности в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

11. Предложен усовершенствованный подход к классификации аэропортов для формирования концепции стратегического развития и функционирования сети аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока с формированием стратегии построения сети маршрутов в условиях аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе топливно-экономического критерия.

Практическая значимость результатов проведенных исследований определяется следующим:

1. Благодаря применению метода теплофизического моделирования при проведении экспериментальной работы, выполнено научное обоснование метода тепловой компенсации и разработаны организационные мероприятия по реализации методов поддержания летной годности и надежности современных ВС в условиях Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока.

2. Автором выдвинута гипотеза, определяющая главное направление научного поиска, где с целью решения поставленной научной проблемы выполнено системное моделирование на основе факторного взаимодействия основных элементов и моделей воздушного транспорта «аэропорт — самолет — топливо», позволившее впервые разработать методический комплекс необходимый для формирования методологии построения эффективной авиатранспортной системы.

3. Выполнена оценка факторов оптимизации завоза авиатоплива в районы Крайнего Севера и Арктики на основе методики применения корреляционно-регрессионного анализа, что позволило оптимизировать логистическую схему с сокращением количества перевалок топлива, снижения стоимости его транспортировки и сохранении качества авиатоплива.

4. В качестве альтернативного решения по оптимизации логистики поставляемого в удаленные аэропорты авиационного топлива предложен метод и технологические преимущества транспортировки с помощью танк-контейнеров.

5. Предложен метод исследования моделей ВС через параметрическое моделирование для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока, который позволяет выполнение задачи моделирования оптимальной линейки ВС даже в условиях текущей неопределенности. Получена модель оптимизации парка ВС, позволяющая определить потребное количество ВС, которые могут быть использованы как оптимальная линейка ВС при построении сценариев развития парка единой дальневосточной авиакомпании и центров ТОиР российской авиатехники в регионе Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

6. Предложена модель определения граничных условий целесообразности использования ВС малой пассажировместимости и большой дальности полета для сетей с перегруженными опорными аэропортами, в которой, в отличие от существующих моделей, учитывается дополнительный параметр в виде стоимости топлива.

7. Сформирована стратегия построения сети маршрутов в условиях аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе топливно-экономического критерия.

8. Предложен и обоснован метод повышения авиатранспортной доступности Дальневосточного региона через трансформацию авиакомпаний низкобюджетной бизнес-модели в дальнемагистральный сегмент на основе системно-интегральной методологии.

9. Предложена концепция создания и развития единой дальневосточной авиакомпании в качестве принципиально нового подхода в построении эффективной авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока, путем формирования состава и структуры парка воздушных судов, развития аэродромной и маршрутной сети, повышения эффективности деятельности авиапредприятий, систем их материально-технического и топливного обеспечения.

Методология и методы диссертационного исследования. В качестве методологической основы диссертационного исследования взяты фундаментальные научные труды отечественных и иностранных ученых в самых широких областях науки, в области теории и практики транспортных систем, проектирования, обеспечения надежности и поддержания летной годности воздушных судов, решения логистических задач материально-технического обеспечения. Для решения поставленных задач были использованы методы нечетких множеств, теория сложных систем, корреляционно-регрессионный анализ, системный и многофакторные анализы, положения теории

сложных сетей, математическое и параметрическое моделирование, имитационное моделирование, принятия решений в условиях неопределенности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритмы оптимизации модельного ряда ВС для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.
2. Метод формирования оптимальной линейки (модельного ряда) воздушных судов для построения парка авиапредприятий регионов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе исследования параметрических моделей ВС.
3. Методика формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.
4. Метод корреляционно-регрессионного анализа как основа процесса оптимизации транспортной схемы топливообеспечения в аэропорты Арктической зоны Крайнего Севера.
5. Обоснование альтернативного метода транспортировки авиационного топлива в удаленные аэропорты Крайнего Севера и Арктики с помощью танк-контейнеров.
6. Методология формирования единой дальневосточной авиакомпания, методов и принципов формирования маршрутной сети, парка воздушных судов, учебных центров и организаций по ТООР.

Достоверность и обоснованность полученных результатов исследования обеспечивается принятой методологией исследования на основе известных законов физического и математического моделирования, корректным применением современного математического аппарата, теории надежности и теории сложных систем, теории вероятности, теплофизики, системного анализа и экспертных оценок и подтверждается удовлетворительным уровнем сходимости прогнозных значений с реальными ключевыми показателями дальневосточной авиатранспортной системы региона Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Исследовательская работа основана на 20-ти летнем опыте работы автора в авиатранспортной системе Крайнего Севера и на 42-х летнем опыте работы в гражданской авиации в целом. Автором разработаны стратегии создания и развития 4-х авиакомпаний в качестве генерального директора, «Авианова», «Добролет» («Победа») и в том числе 2-х авиакомпаний Крайнего Севера, «Нордавиа-региональные авиалинии» (г. Архангельск) и «Якутия» (г. Якутск), где автором выполнены значительные преобразования и совершенствование бизнес-моделей, стратегий развития парков, маршрутных сетей, материально-технического обеспечения, что обеспечило повышение эффективности деятельности вышеперечисленных авиапредприятий.

Апробация результатов исследовательской работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались автором и обсуждались на следующих научных-технических и отраслевых конференциях: XXI научно-техническая конференция «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского», Москва, 2024; XIV Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященная 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 2023; XII Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиации. Научные чтения имени А. С. Попова», «Военно-Воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, 2023; Международная научно-практическая конференция «Воздушный транспорт – основа логистических коммуникаций» («Авиатранс 2022»), МГТУ ГА Ростовский филиал, Ростов-на-Дону, 2022; XI Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», Иркутск, 2022; XIII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации», посвященная празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев», 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 2022; Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Инфраструктура и транспортно-логистические системы России: технологии, материалы, безопасность» Барнаул, 2022; XVIII научно-техническая

конференция «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского», Москва, 2022; Международная научно-практическая конференция «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм», ВГЛУ, Воронеж, 2021; Международная научно-практическая конференция «Транспортная доступность Арктики: сети и системы», СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2021; Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященная 50-летию МГТУ ГА, Москва, 2021; Научно-практическая конференция «Технологическое развитие авиастроения: глобальные тенденции и национальные интересы России», Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, 2021; Научно-техническая конференция, XVII Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского (вошел в тройку лучших докладов, вручена грамота), Москва, 2020; Научно-методическая и научно-исследовательская конференция «Инновационные подходы комплексного развития аэропортов в условиях Арктической зоны и северных регионов России», МАДИ, Москва, 2019; III-й Международная научно-практическая конференция УО «Белорусская государственная академия авиации», Минск, 2019; 12-я Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященная 95-летию Гражданской авиации России, МГТУ ГА, Москва, 2018.

На отраслевых конференциях и международных форумах: «Общественный транспорт 2024» – форум, Москва, 2024; «NAIS» – 12-я Национальная выставка и форум инфраструктуры гражданской авиации, Москва, 2024; Международная конференция и выставка MRO Russia & CIS, ATO events, Москва, 2020, 2023; 5-я Международная конференция «Арктика-2020» – «Комплексное развитие автомобильных дорог, дорожных сооружений и аэродромов в условиях Арктической зоны и северных регионов России», ТПП РФ, Москва, 2020; Научно-образовательный центр «Север: территория устойчивого развития», РАНХиГС, Москва, 2020; 8-е заседание подкомиссии по международному сотрудничеству Российско-Японской Межправительственной комиссии по торгово-экономическим вопросам, Цукуба, Япония, 2019; 17-й Международный авиационный форум «Крылья Будущего», ATO events, Москва 2019; «NETWORK» – Форум по развитию Евразийских маршрутов, Красноярск, 2019.

Публикации. Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в 38 научных работах, в том числе 23 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ (177 с.), из них 14 – в изданиях по транспорту; три публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и IEEE (38 с.); 9 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций (36 с.). Изданы: одна монография и одна коллективная монография. Получен один патент на изобретение.

Личный вклад соискателя заключается:

- в формулировании научной проблемы и выдвижении гипотезы исследования, постановке цели и задач работы;
- выполнении теоретических исследований, разработке методов с последующим выполнением экспериментальной работы;
- решении аналитических и расчетных задач;
- разработке принципов и методов по обеспечению летной годности и надежности эксплуатации современных воздушных судов в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера, Сибири и Арктики;
- обосновании применимости и выполнении метода параметрического моделирования для формирования линейки ВС для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- формировании модели оптимизации парка ВС, которые могут быть использованы как оптимальная линейка ВС при построении сценариев развития парка единой дальневосточной авиакомпании и центров ТОиР российской авиатехники в регионе Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;
- разработке методики формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока;

- формировании стратегии построения сети маршрутов в условиях аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе топливно-экономического критерия;

- выполнении оценки факторов оптимизации завоза авиатоплива в районы Крайнего Севера и Арктики на основе методики применения корреляционно-регрессионного анализа; обосновании альтернативного решения по оптимизации логистики поставляемого в удаленные аэропорты авиационного топлива методом транспортировки с помощью танк-контейнеров.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации получены автором лично и являются его самостоятельно полученным научным результатом с широкой апробацией и практической реализацией в процессе создания единой дальневосточной авиакомпании Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Ценность научных работ заключается в том, что в них соискатель развивает теоретико-методические и методологические положения по исследуемым вопросам диссертации. Основные положения исследования, изложенные в работах автора, послужили развитию научных основ построения эффективной авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока благодаря разработке комплекса математических методов и научно-обоснованных решений проблем надежности и поддержания летной годности современных воздушных судов в условиях экстремально низких температур, формирования состава и структуры парка воздушных судов, развития аэродромной и маршрутной сети, повышения эффективности деятельности авиапредприятий, систем их материально-технического обеспечения как комплексных решений, обеспечивающих достижение долгосрочных стратегических целей развития авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока страны в новых геополитических условиях.

Использование и практическое внедрение результатов.

Научные положения и результаты исследования внедрены при создании единой дальневосточной авиакомпании путем:

- личного участия в разработке проекта и создании единой дальневосточной авиакомпании с лидирующей ролью авиакомпании «Аврора»;

- разработки методологии решения проблемы обеспечения авиатранспортной доступности в условиях Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, базирующейся на теории сложных сетей с обоснованием количественных показателей эффективности функционирования АТС региона;

- разработки комплекса рекомендаций по долгосрочному прогнозированию объемов авиаперевозок и авиационного парка;

- разработки методики определения оптимальной частоты рейсов в условиях функционирования авиакомпаний регионов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока за счет оптимизации сети авиамаршрутов и перераспределения соответствующих ресурсов при экономии расхода топлива;

- выбора метода и научно обоснованной концепции объединения, консолидированного развития парка, маршрутной сети, бренда и обоснования экономически эффективной стратегии совместной работы авиапредприятий региона.

Основные положения диссертационного исследования прошли апробацию и внедрение в низкобюджетных и традиционных авиакомпаниях «Авианова», «Добролет» («Победа»), «Нордавиа – региональные авиалинии», АО «Авиакомпания «Якутия», АО «Авиакомпания «Полярные авиалинии», а также в реализации проекта создания единой дальневосточной авиакомпании с лидирующей ролью авиакомпании «Аврора».

Структура работы. Диссертационное исследование состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, терминов и условных обозначений, а также списка литературы из 341 наименования. Основной текст изложен на 271 странице, содержит 71 рисунок и 33 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы, сформулирована научная проблема, выдвинута гипотеза, цели и задачи исследования, отражены научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дана развернутая характеристика современного состояния региональной авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока. Региональная авиация является важнейшей и неотъемлемой частью отрасли авиационных перевозок пассажиров и всей транспортной системы страны. В совокупности с местными авиаперевозками региональная авиация в большинстве регионов Крайнего Севера и Арктики является безальтернативным видом транспорта. В процессе выполнения анализа проблем региональной авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока, в ходе которого проанализировано состояние авиатранспортной системы на рассматриваемой территории и выявлены факторы, препятствующие ее развитию, системные, организационные, географические, инфраструктурные, экономические, технические и промышленные. Дана оценка состояния авиатранспортной системы и ее соответствия потребностям региона по четырем аспектам: состояние существующей сети аэропортов и их географическое положение; существующая маршрутная сеть и частота полетов авиакомпаний, обслуживающих арктические регионы; авиационная подвижность населения, пассажирские и грузопотоки воздушного транспорта в арктических регионах; структура парка воздушных судов авиакомпаний, работающих в арктических регионах.

С учетом результатов выполненного анализа авиатранспортной системы, получено, что наиболее значимое воздействие на себестоимость и конечную стоимость авиаперевозки имеют три фактора. Исходя из их удельного веса в структуре затрат, за основу формирования гипотезы диссертационного исследования выбраны наиболее весомые факторы стоимости:

1. Стареющий и неэффективный флот с высокой стоимостью поддержания летной годности, в том числе нехватка квалифицированных авиационных специалистов для ее поддержания из-за общего оттока населения, стоимость и логистические проблемы поставки запасных частей в совокупности формируют фактор воздушного судна в структуре затрат авиакомпаний, составляющий от 15% до 20%.

2. Значительный износ производственной базы аэропортовой инфраструктуры, взлетно-посадочных полос, отсутствие современных систем инструментальной посадки и навигации, оснащения свето- и радиотехническим оборудованием формируют фактор аэропорта в структуре затрат авиакомпаний, составляющий от 15% до 25%.

3. Неудовлетворительное состояние топливозаправочных комплексов и несовершенная, дорогостоящая логистика топлива, все это формирует фактор топлива в структуре затрат авиакомпаний, составляющий до 30%.

Таким образом, автором выдвигается гипотеза, определяющая главное направление научного поиска, где с целью решения поставленной научной проблемы предполагается выполнить системное моделирование на основе факторного взаимодействия основных элементов авиатранспортной системы, а именно: «аэропорт — самолет — топливо», совокупное решение проблем которых, по мнению автора, может позволить впервые разработать методический комплекс, необходимый для формирования методологии построения эффективной авиатранспортной системы. Исходя из выдвинутой гипотезы, автором предполагается, что деятельность и развитие авиатранспортной системы и, в частности, местной и региональной авиации Крайнего Севера и Арктики, в высокой степени зависит от трех ключевых факторов, суммарная доля которых в совокупности формирует от 65% до 75% затрат авиакомпаний в общей структуре себестоимости авиаперевозки, что напрямую влияет на стоимость перелета для населения. На основе поиска научно-обоснованных решений по оптимизации процессов в каждом из вышеперечисленных трех направлений, с использованием научных подходов и методов, сформированы цели и задачи исследования, от достижения которых зависит успешность разработки методологии построения эффективной авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Целью развития авиатранспортной системы в части региональной и местной авиации Крайнего Севера, Арктики и всего Дальневосточного региона является обеспечение ее соответствия требованиям эффективного и устойчивого обслуживания текущих и перспективных потребностей населения и отраслей экономики Дальнего Востока в воздушных перевозках и авиационных работах с использованием возможностей региональной и местной авиации, повышение транспортной доступности, авиационной подвижности и качества транспортных услуг для населения.

Характерными особенностями регионов Крайнего Севера, Арктики и всей Восточной Сибири являются низкая плотность населения и его низкая платежеспособность, что обуславливает, в свою очередь, низкую интенсивность авиаперевозок и невозможность, в отличие от советского времени, формирования устойчивых пассажиропотоков. Как следствие, существующие региональные и местные авиаперевозки имеют высокую себестоимость за счет высоких удельных затрат на содержание аэродромной сети и использования воздушных судов с дорогой себестоимостью летного часа. В исследовании показан разрыв в стоимости пассажиро-километра на местных, региональных и магистральных авиалиниях. Подчеркивается существенная разница между сегментами авиаперевозок на российском рынке в стоимости пассажиро-километра от 6,9 до 14 раз соответственно. Именно разрыв себестоимости авиаперевозки на внутренних местных авиалиниях со средней протяженностью 250–300 километров, региональных внутренних протяженностью до 1100 км и магистральными внутренними авиалиниями в 2200 километров и более оказывает наибольшее влияние на общее состояние авиатранспортной системы.

Наиболее значимо данная стоимостная фрагментация наблюдается в структуре расходов авиакомпаний, оперирующих на маршрутной сети Крайнего Севера и Арктики по вышеперечисленным причинам: высокой стоимости авиатоплива, особенно после доставки в аэропорты Арктической зоны, стоимости взлета-посадки, до 10 раз выше, чем в европейской части России, и аэропортового обслуживания в целом.

Выполнен факторный анализ гипотезы исследования, где первым значительным фактором, усугубляющим и без того низкоэффективную эксплуатацию флота региональных воздушных судов в районах Крайнего Севера и Арктики, являются регламенты работы аэропортов, в подавляющем своем большинстве работающих только светлое время суток. Регламенты работы большинства региональных аэропортов ограничены восемью или максимум двенадцатичасовыми сменами и обычно с двумя выходными днями в неделю, что в результате существенно «сужает» расписание полетов для авиакомпаний. При этом эффективность коммерческого использования воздушных судов снижается в среднем на 30–40% в отличие от их эксплуатации в регионах страны с круглосуточной работой аэропортовой сети. В региональной авиации Дальнего Востока воздушное судно находится в воздухе в среднем три часа в сутки, но для окупаемости стоимости владения и поддержания летной годности, этот показатель должен быть не менее девяти. Особенностью транспортной системы Российской Федерации является ее неравномерная концентрация, где центрами притяжения выступают промышленные центры, транссибирская магистраль и БАМ. В результате неравномерности развития транспортной системы субъектов РФ полученная диспропорция привела к высочайшей зависимости большинства районов Крайнего Севера и Арктики от воздушного транспорта, что в современных условиях отсутствия поставок отечественной промышленностью современных воздушных судов имеет тенденцию к существенному дефициту провозных мощностей в региональном и местном сегменте авиационных перевозок. Высокая стоимость эксплуатации морально устаревшего авиапарка, в основном незаменимых Ан-2, Ан-24, Ан-26 и единичных экземпляров еще советских Ан-38, а также оставшихся без поддержки нескольких типов немногочисленных зарубежных ВС, Л410, ATR-42/72 и Bombardier Dash8 Q200/300/400. Это обстоятельство является сегодня для большинства маршрутов Крайнего Севера и аэропортов Арктической зоны серьезнейшим ограничивающим фактором в обеспечении свободы перемещения населения и решении жизненно важных социально-экономических задач.

В ходе исследования проанализировано состояние авиатранспортной системы, где выявлено, что другой основной проблемой, препятствующей планомерному развитию Арктических районов, остается аэропортовая сеть с непропорциональным количеством аэропортов и аэродромов относительно располагаемой площади заполярных районов Якутии (Республика Саха) и Чукотки, где на площадь в 1000 кв. км приходится всего 0,01 аэропорта, в сравнении, например, с Аляской, где на территории в 1 718 000 кв. км и с населением 731 454 человека аэродромная сеть располагает 459 аэропортами, аэродромов и посадочных площадок с соотношением 0,26 аэропорта на 1000 кв. км. Сохраняется низкий уровень транспортной мобильности жителей Крайнего Севера и в особенности Арктических районов Якутии и Чукотки, где с 1989 года произошло самое существенное падение перевозок на местных и межрайонных авиалиниях в пять раз, а между небольшими населенными пунктами (улусами) – в 25 раз.

Авиатранспортная доступность как один из базовых терминов, используемых в настоящей работе, может трактоваться как элемент более общей системы – транспортной доступности (ТД). Транспортная доступность, в отличие от авиационной доступности, достаточно полно изучена в специальной литературе и представляет анализ различных подходов к уяснению содержания понятия ТД. Подвижность показывает способность транспортной системы обеспечить выполнение транспортной работы средствами транспорта, а транспортная доступность характеризует возможности удовлетворить спрос на конкретное перемещение выбранным видом/видами транспорта.

Предлагаемая автором настоящего исследования формулировка понятия ТД: *транспортная доступность* – функциональная способность транспортной системы предоставлять услуги потребителям – физическим и юридическим лицам – осуществлять перемещение в пространстве по согласованным маршрутам и отвечающая требованиям: безопасности, экологичности, качеству оказываемых услуг, обоснованности тарифной политики и соблюдении правил перевозки. На основе проведенного исследования были определены сферы применения показателя транспортной доступности с точки зрения теории транспортных систем, которую следует взять за основу в процессе разработки методологии обеспечения эффективного функционирования авиатранспортной системы. Определено, что наиболее значительное влияние оказывают два глобальных фактора, во многом определяющих современное состояние и пути развития авиатранспортной системы в целом, в частности, природный и антропогенный. Влияние природного фактора является естественным процессом и не зависит от деятельности человека, а представляет собой сочетание природно-климатических характеристик того или иного региона. К типу антропогенных факторов относятся демографический, собственно формирующий спрос к услугам авиационного транспорта, промышленный, особенностью которого является наличие или отсутствие промышленных центров или производств, в значительной мере формирующих потребность в пассажирских и грузовых перевозках. Так же, как и промышленный, существенным антропогенным фактором, влияющим на развитие авиатранспортной системы и региональной авиации, является энергетический.

Во второй главе представлены методы решения проблемы эксплуатации современных ВС с цифровым бортовым комплексом авионики в условиях низких и экстремально низких температур. Представлены организационные мероприятия по реализации методов поддержания летной годности современных ВС в условиях Крайнего Севера Арктики и Дальнего Востока.

Обосновано, что при низких и экстремально низких температурах возникают проблемы с поддержанием летной годности ВС, прежде всего из-за возрастания параметра потока отказов. Показано, что понятия надежности, безопасности полетов и поддержание летной годности ВС с бортовым цифровым комплексом авионики могут рассматриваться как целостная группа понятий, к общим признакам которых относятся отказы с обоснованием теоретических аспектов исследования, а также метода определения соотношения количества неявных отказов авионики. Изучены методологические аспекты низкотемпературной надежности авионики при эксплуатации современных воздушных судов в условиях Крайнего Севера и Арктики,

низкотемпературный сегмент надежности современных ВС с бортовым цифровым комплексом авионики существенно менее проработан в научном и технологическом плане в сравнении с высокотемпературным сегментом.

Спецификой Сибирского региона Крайнего Севера и Арктики являются климатические условия. Резко континентальный климат, с большим разбросом климатических зон, с перепадами температур от $+40^{\circ}\text{C}$ летом и до -50°C в Восточной Сибири и до -60 – -65°C в Якутии.

В целях поиска научно-обоснованных технико-конструкторских методов и решений для адаптации воздушных судов к экстремально низким температурам с обеспечением надежного функционирования комплексов авионики современных ВС были выполнены климатические испытания и экспериментальные исследования современных воздушных судов Airbus в условиях Якутии. Получены данные по поведенческим характеристикам и отказам систем воздушных судов и авионики в условиях экстремально низких температур аэропорта Якутск. Рассмотрено понятие надежности как в общесистемном плане, так и в отношении ВС с современным бортовым комплексом авионики. Потребность в уточнении особенностей употребления таких понятий, как «надежность, отказы и летная годность ВС» обусловлена обстоятельствами, что методологические решения по проблеме надежности, а также решение задач оценки параметров надежности современных ВС с бортовым цифровым комплексом предполагает уточнения взаимосвязи используемых базовых терминов и параметров. Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

На основе объединения данных по надежности микроэлектронных приборов и данных по работоспособности цифрового оборудования в области отрицательных температур выведена обобщенная зависимость надежности цифрового оборудования в широком диапазоне температур (рисунок 1).

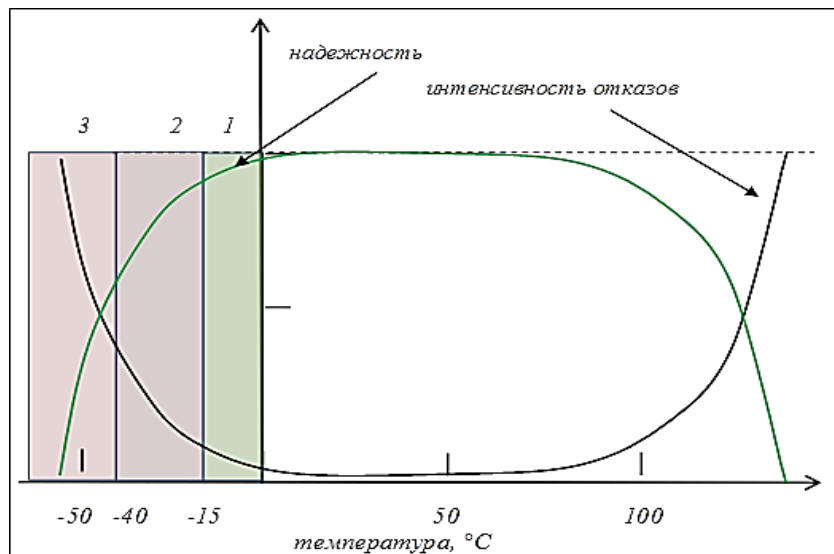


Рисунок 1 – Зависимость надежности цифрового оборудования в широком диапазоне температур – от экстремально низких до предельно высоких.

Зоны в области отрицательных температур:

1 – высокая надежность; 2 – пониженная надежность; 3 – надежность утрачена

Как видно из рисунка 1, кривая надежности цифрового оборудования имеет седловидный характер – пологий минимум в районе от -15 до $+50^{\circ}\text{C}$, а в области 20°C и ниже, а также выше 100 – 120°C ускоряется в зону отказов и потери работоспособности.

Перечисленные выше отказы авионики по своему характеру в значительной части относятся к критическим, что предполагает применение радикальных мер по их предотвращению (например, снятие компьютеров с борта на ночь). Вместе с тем анализ, выполненный в исследовании, указывает на существование, наряду с критическими, менее опасных дефектов, порожденных воздействием низких температур. Обеспечение эффективной работы

авиатранспортной системы и жизненно необходимой авиационной подвижности населения Крайнего Севера, Дальнего Востока и в особенности Арктических районов ставит задачи решения проблемных вопросов круглогодичного безангарного базирования современных воздушных судов с бортовым цифровым комплексом авионики в условиях экстремально низких температур с обеспечением их безопасной и надежной эксплуатации. Исходя из этого, в работе дано обоснование разработки метода тепловой компенсации на основе теплофизического моделирования и экспериментальной работы. Выполнена оценка параметров охлаждения и надежности ВС в условиях экстремально низких температур с использованием метода теплофизического моделирования. Опираясь на полученные расчетные данные, разработан и экспериментально апробирован *метод тепловой компенсации* – МТК на основе системы рециркуляции воздушного потока штатной системы обдува бортового цифрового комплекса авионики, обеспечивающий простой и надежный способ поддержания заданного теплового режима работы бортового цифрового комплекса авионики и систем ВС с обеспечением постоянной готовности ВС к вылету и возможностью длительных стоянок в безангарных условиях экстремально низких температур аэропортов Крайнего Севера, Сибири и Арктики. Автором данного диссертационного исследования получен патент на изобретение.

В третьей главе представлено решение выдвинутой автором гипотезы, как определяющей главное направление научного поиска, где с целью решения поставленной научной проблемы выполнено системное моделирование на основе факторного взаимодействия основных элементов и моделей воздушного транспорта «аэропорт — самолет — топливо», что позволило впервые разработать методический комплекс научного обоснования структуры авиатранспортной системы региона, включающий механизмы выбора типов ВС, формирования парков и распределения ВС по маршрутной сети.

Критерий топливной эффективности авиатранспортной системы – это энергия, используемая для одного летного часа, транспортировка единицы коммерческой загрузки, одного пассажира или транспортная работа, выполненная путем использования одной единицы энергии. Математически данные критерии можно записать в следующем виде:

$$K_{\text{эф1}} = \frac{\text{Количество используемого топлива}}{\text{Налет часов}}, \left[\frac{\text{кг}(\text{л})}{\text{часов}} \right]$$

$$K_{\text{эф2}} = \frac{\text{Количество используемого топлива}}{\text{Количество транспортной работы}}, \left[\frac{\text{кг}(\text{л})}{\text{ткм}} \right]$$

$$K_{\text{эф3}} = \frac{\text{Количество используемого топлива}}{\text{Пассажирооборот}}, \left[\frac{\text{кг}(\text{л})}{\text{пасс.км.}} \right]$$

$$K_{\text{эф4}} = \frac{1}{K_{\text{эф3}}}, \left[\frac{\text{пасс.км.}}{\text{т}(\text{л})} \right]$$

$$K_{\text{эф5}} = \frac{1}{K_{\text{эф2}}}, \left[\frac{\text{ткм}}{\text{т}(\text{л})} \right]$$

Если энергетические коэффициенты определять для всей транспортной системы региона, то расчеты будут гораздо сложнее, так как необходимо принимать во внимание использование энергии в ходе создания инфраструктуры, например, строительства взлетно-посадочных полос и т. д.

Предложенная базовая методология позволяет упростить задачу оценки эффективности авиатранспортной системы региона через определение концепции функционирования данной системы, классификацию критериев эффективности по уровням интересов и иерархии затрат. Одновременно с исследованием структуры системы осуществляется функциональный анализ путем исследования процессов изменения ее состояния на основе принятых алгоритмов (принципов, методов, способов) управления.

Выполненная оценка факторов оптимизации завоза авиатоплива в районы Крайнего Севера и Арктики путем оптимизации логистической схемы топливообеспечения на основе методики применения корреляционно-регрессионного анализа позволяет выбрать оптимальную стратегию

поставки в каждый из рассматриваемых труднодоступных аэропортов регионов Арктической зоны. Как, указывалось выше, для 85% территории в Республике Саха (Якутия) авиация является единственным круглогодичным средством транспортного сообщения. При этом, только 47,5% Якутии имеет круглогодичное транспортное обеспечение. Важнейшим фактором, влияющим на круглогодичное обеспечение транспортной доступности для подавляющего большинства аэропортов республики и в особенности Арктической зоны, является завоз необходимого количества авиатоплива при условии сохранения его потребительских свойств. Поставка авиатоплива от ближайшего нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) г. Ангарска осуществляется сначала железнодорожным транспортом до пунктов накопления в п. Усть-Кут Иркутской области для его дальнейшей перевалки и транспортировки. В Усть-Куте топливо, предназначенное для аэропортов Нерюнгри, Алдан, Якутск, отправляется железнодорожным транспортом, другая часть топлива перегружается на маломерные суда для транспортировки по мелководному руслу реки Лена. Одновременно с этим другая часть топлива в г. Ленск, предназначенная для снабжения северо-западной части Якутии, аэропортов Полярный, Оленек и Саскыллах, продолжает транспортировку автоцистернами по «зимникам». Беспрецедентным является то, что после всей многоступенчатой транспортировки авиатоплива с восемью или девятью перевалками его использование для заправки воздушных судов возможно только на второй год после закупки. При этом многочисленные смены средств доставки, «перевалки» топлива – слива-налива и перекачек по трубопроводам со сменой транспортных емкостей и емкостей хранения, оказывают негативное влияние на качество доставляемого топлива в конечный пункт назначения, где выявляется ухудшение электрических свойств топлива, т.е. параметра удельной электропроводности. Критически максимальными значениями до 8 или даже 9 перевалок топлива характеризуется доставка топлив в такие аэропорты, как Батагай, Зырянка, Саккырыр, Черский, Чокурдах, Среднеколымск и Белая Гора (рисунок 2).

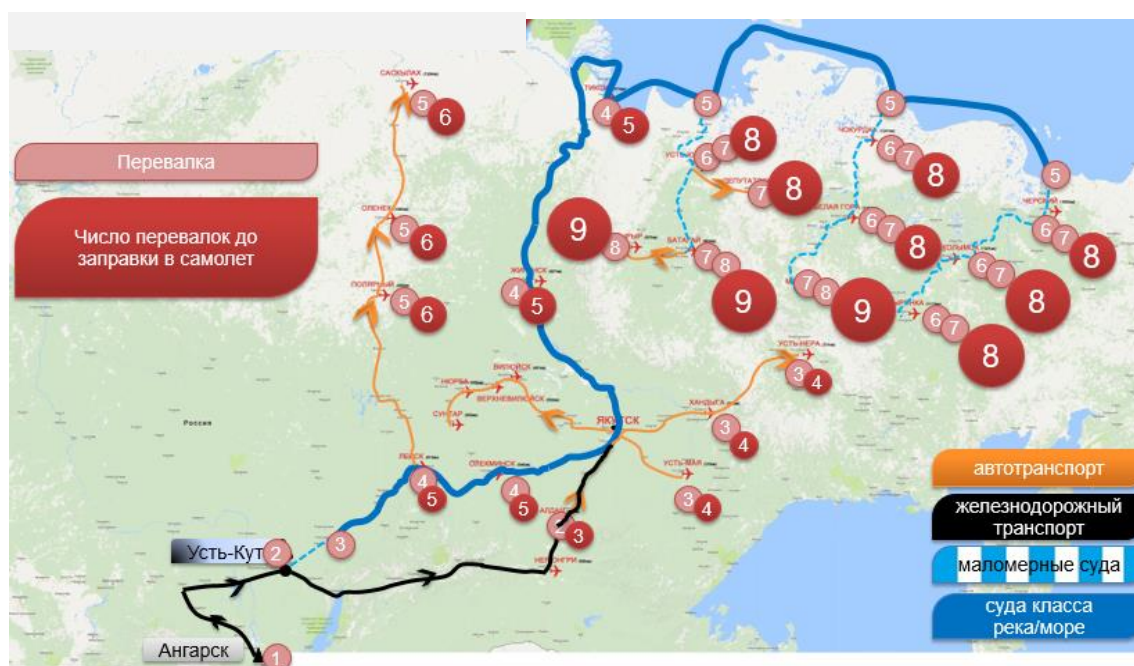


Рисунок 2 – Действующая схема завоза авиатоплива Республика Саха (Якутия) с указанием количества перевалок и смены видов транспорта

Не менее сложную логистическую схему поставки имеют и другие регионы Крайнего Севера, например, аэропорты Чукотского автономного округа (рисунок 3).

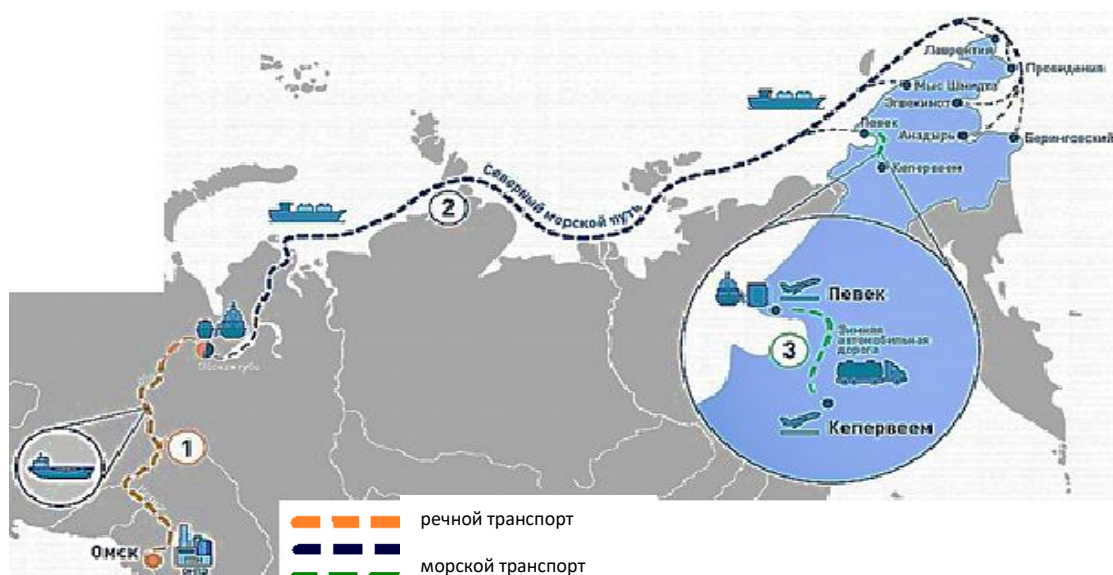


Рисунок 3 – Действующая схема завоза авиатоплива
Чукотского автономного округа с Омского НПЗ

Транспортировка с Омского НПЗ на Чукотку осуществляется в три этапа продолжительностью более 9 тысяч километров и занимает от девяти месяцев. Первый этап транспортировки происходит от нефтеперерабатывающего завода речным транспортом по рекам Иртыш и Обь. Затем производится перегрузка в морские танкеры и далее до портов Певек и Анадырь, а также мыс Шмидта, Лаврентия, Провидения, Эгвекинот и Беринговский. Третий этап состоит в доставке авиатоплива по «зимникам» из города Певек в аэропорт поселка Кемервеем также по «зимникам» (рисунок 3).

Для оценки результатов использованы методы статистики, основу которых составляют построение и анализ соответствующей математической модели на основе динамики ее значений в прошлых периодах с применением корреляционно-регрессионного анализа, позволяющий перейти от функциональной связи между факторами и результативным показателем к стохастической зависимости. На основе предложенной регрессионной модели были выбраны оптимальные варианты развития топливного обеспечения Республики Саха (Якутия) для воздушного транспорта в предстоящем периоде. Корреляционно-регрессионный анализ обеспечил определение влияния факторов, для которых невозможно построить жесткую детерминированную факторную модель. В качестве же результативного признака использован стоимостный показатель, который наилучшим образом позволяет отразить степень эффективности логистической схемы поставки авиатоплива в удаленные аэропорты Арктической зоны.

Использование регрессионного анализа позволило определить функцию, согласно которой было установлено влияние параметров модели на зависимую переменную Y (оценка чистого дохода). В общем виде уравнения регрессии, которые оцениваются, имеют следующий вид:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3.$$

Для определения коэффициентов регрессии модели были использованы следующие первичные данные, отражающие текущее состояние производства. По результатам анализа удалось пропорционально распределить оценки влияния показателя качества x_2 по зависимому показателю Y на основании результатов статистических данных по ценам и логистике авиатоплива в Арктическую зону. Полученная линейная модель имеет следующий вид:

$$Y = 86373,60 + 82800 X_1 + 59713,13 X_2 + 46,6 X_3.$$

Анализ коэффициентов регрессии позволил выяснить степень влияния факторов на исходную смену. Используя экспериментальные данные, была проведена проверка наиболее значимых факторов, влияющих на результат, разделив их на изменяющиеся в зависимости от условий доставки и не изменяющиеся. Проведя центрирование данных, построена модель оценки

стоимости, которая позволит смоделировать процесс доставки авиатоплива с учетом изменяющихся условий. Полученный коэффициент множественной корреляции и значения остаточной дисперсии показывают тесноту связи результативного показателя с факторными показателями, то есть характеризуют качество выбора уровня регрессии. Анализ полученных значений позволяет сделать вывод, что в среднем наиболее влиятельным фактором является такой показатель, как стоимость транспортировки топлива.

Предложен альтернативный метод по оптимизации логистики поставляемого в удаленные аэропорты авиационного топлива с помощью танк-контейнеров (рисунок 4), позволяющий снизить число перевалок топлива с восьми-девяти до трех-четырех, что более, чем вдвое снижает вероятность потери качества топлива. Показаны технологические преимущества предлагаемого метода: мультимодальность, когда один танк контейнер может быть использован разными видами транспорта, эффективность, так как танк-контейнеры можно использовать многократно. Изготовленные из нержавеющей стали контейнеры могут быть оснащены системой пароподогрева и слоем теплоизоляции, обеспечивая надежность и качество при использовании в условиях низких температур.



Рисунок 4 – Предлагаемая 3–4-ступенчатая транспортировочная схема для завоза топлива с помощью танк-контейнера

Таким образом, данный метод транспортировки позволяет достичь цели исследования по оптимизации логистической схемы транспортировки топлива, сокращения числа перекачек и тем самым – обеспечение качества доставляемого топлива с сохранением его характеристик, особенно удельной электрической проводимости.

Проведено исследование фактора аэропорта, как одного из важнейших инфраструктурных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на качественное и масштабное развитие авиатранспортной системы Крайнего Севера, Сибири и Арктики. Оценка состояния существующей аэропортовой сети выполнялась на основании расчета количества действующих аэропортов на 1000 кв. км и 1000 жителей. Значительное сокращение аэропортовой сети в постсоветский период с почти 1450 до 228 в настоящий период, оказывает негативное влияние на дальнейшее развитие региональной авиатранспортной системы. Наибольшее сокращение количества аэропортов и посадочных площадок произошло в Красноярском крае, где оно уменьшилось с 226 до 23. Аэропортовая сеть Республики Саха (Якутия) сократилась в 4–5 раз и насчитывает сейчас 32 аэропорта, на Чукотке всего 14.

В отличие от аэродромов, расположенных в европейской части страны, значительным ограничивающим фактором является меньший временной регламент работы. В большинстве своем аэродромы работают пять дней в неделю и только в дневное время суток, что в сочетании со слабой или устаревшей оснащенностью радиотехническими системами посадки и навигации не способствует построению сети маршрутов, которая должна обеспечивать экономически

эффективную эксплуатацию флота местных авиакомпаний в круглосуточном режиме. Климатический фактор с экстремально низкими температурами Арктических районов Крайнего Севера и Якутии выдвигает особые конструктивные требования к обеспечению воздушными судами, прежде всего региональными, с характеристиками надежности и диапазоном эксплуатационных температур от $+45$ до -54°C , способными базироваться в безангарных условиях и обеспечивать региональные и межрайонные маршруты внутри субъектов Дальнего Востока – вплоть до полетов между населенными пунктами в пределах одного района. Спецификой же дальневосточных авиаперевозок является невысокий спрос из-за низкой плотности населения, вследствие чего формируются слабые пассажиропотоки между населенными пунктами. Аэродромная сеть Дальневосточного федерального округа, насчитывает 146 труднодоступных населенных пункта, из которых только 83 (58,6%) обеспечены регулярным авиатранспортным сообщением. Одной из задач, обозначенных в проекте по созданию единой дальневосточной авиакомпании, являются изменения этого соотношения в значительно лучшую сторону.

Основными сдерживающими факторами увеличения количества выполняемых рейсов и, соответственно, увеличения пассажиропотока в аспекте сети аэродромов являются стоимость услуг аэропортов по обеспечению взлета и посадки, авиационной безопасности, стоимости авиатоплива, а также проблема с квалифицированными специалистами и обслуживающего персонала в целом. Так, тариф за взлет-посадку в государственном объединении «Аэропорты Севера» достиг 2440 руб. за тонну, а в случае продления регламента работы увеличивается еще на 40%. При этом тариф за взлет-посадку, например, в Хабаровске составляет 380 руб., а во Внуково всего 220 руб. за тонну (рисунок 5). Высокие тарифы на услуги, топливо и ограничения в регламенте работы аэропортов Арктической зоны негативным образом отражаются на стоимости авиаперелетов для населения, которые становятся редкими и ограничивают свободу передвижения и требуют государственной поддержки.

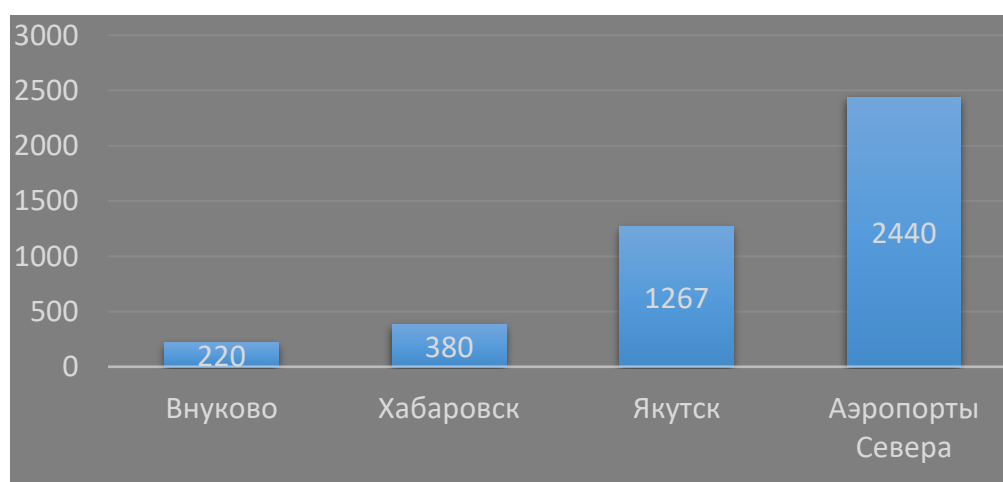


Рисунок 5 – Сравнение тарифов за взлет-посадку в аэропортах Дальнего Востока и Москвы

Обсуждение общей модельной задачи функционирования всей авиатранспортной системы страны в сопоставлении со спецификой аэропортов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока позволяет понять ее состояние, ресурсные и технологические ограничения. Полученные результаты предполагается возможным рассматривать в качестве исходной модели для дальнейшего исследования в последующих главах, включающих в себя три приоритетных направления деятельности подсистем авиатранспортной системы (АТС), делая акцент на релевантные факторы, такие как фактор построения оптимальной маршрутной сети, фактор развития аэропортовой сети и топливообеспечения, а также фактор обновления флота за счет современных отечественных ВС, на основании принципа декомпозиции операционных моделей, позволяющего определить значение каждого фактора в цепочке: «аэропорт – самолет – топливо».

Исходными условиями для моделирования на основании принципа декомпозиции операционных моделей служат общедоступные данные о состоянии аэропортовой сети, пропускная способность, оснащение и технологические возможности каждого аэропорта, существующая и перспективная сеть авиамаршрутов, структура и количество воздушных судов в парке авиакомпаний, использующих тот или иной аэропорт, с заданным планируемым периодом T . В каждом из периодов известен пассажиропоток на всех из рассмотренных маршрутов. В начале планового периода t_1 есть определенный парк ВС $\Pi(t_1)$, который в каждом из под-периодов $t \in [1, T]$ может пополняться доступными на рынке ВС определенных типов. Известно также исходное состояние аэропортов $X(t_1)$, то есть класс каждого аэропорта. Необходимо определить динамику изменения структуры сети авиамаршрутов $A(t_1)$, состояния аэропортов $X(t)$ и состава парка ВС $\Pi(t_1)$, чтобы удовлетворить спрос населения и отраслей экономики на авиационные перевозки с максимальной эффективностью:

$$F(\Pi(t), X(t), A(t)),$$

где $\Pi(t)$, $X(t)$, $A(t)$ – вектор-функции развития трех соответствующих подсистем АТС: аэропорт – самолет – авиакомпания (авиамаршрут).

На основании принципов декомпозиции операционных моделей во времени и функциональном пространстве эта сложная задача разбивается на ряд взаимосвязанных задач более простой структуры и меньшей размерности. Иными словами, есть мета-авиационные перевозки, которые необходимо выполнить, и известные средства достижения этой цели – подсистемы и процессы АТС, которые должны быть такими, чтобы цель была достигнута наиболее эффективным образом с учетом ряда релевантных факторов. Тем не менее, ограниченные возможности анализа, основанного на применении соответствующих математических методов, не позволяют этого сделать. В подобных случаях в теории многоуровневых иерархических систем и исследовании операций рекомендуется выбирать переменный масштаб времени в зависимости от временной декомпозиции исходной модели.

Известно, что аэродромная сеть Дальнего Востока достаточно разрежена и выбор запасных аэродромов, регламент их работы, оснащение средствами посадки и часто ухудшающаяся метеорологическая обстановка накладывают серьезные ограничения на планирование и выполнение регулярного расписания. Особенностью аэродромной сети является большая удаленность между подходящими аэродромами, удовлетворяющими требованиям в качестве запасных. Отсюда вытекает необходимость выполнения экспертной оценки технического уровня и влияния конструктивных особенностей тех систем воздушного судна, которые являются ограничивающим фактором в части обеспечения организации безопасного выполнения полетов в условиях существующей аэродромной сети.

Другим критически важным фактором в дальневосточной авиатранспортной системе является фактор воздушного судна, выбор которого ограничен несколькими типами ВС, имеющими сочетание адаптированных для условий Крайнего Севера и Арктики эксплуатационных и летно-технических характеристик. Благодаря именно своим характеристикам и сертификационному базису, RRJ-95 (Superjet SSJ100) уверенно занял достойное место в Дальневосточном регионе на ближних и среднемагистральных маршрутах в нише между 50–75 местными турбовинтовыми Bombardier Q300/Q400, турбореактивными Embraer E-175, среднемагистральными Boeing 737–700/800 и Airbus A319/A320/A321. RRJ-95 хорошо зарекомендовал себя как на международных рейсах в Японию, Ю. Корею, Китай, так и при полетах в аэропорты Крайнего Севера и Арктики – Тикси, Певек, Полярный, Анадырь, где важнейшим преимуществом данного типа является расширенный до минус -54°C диапазон эксплуатационных температур, обеспечивающий RRJ-95 его базирование и непрерывную эксплуатацию в Якутске, в самом холодном многонаселенном городе мира. Общая дальневосточная маршрутная сеть RRJ-95 авиакомпании «Якутия», включая города соседних регионов, насчитывает около 20 аэропортов, где имеются ВПП, оснащенные необходимыми средствами посадки соответствующих характеристик: длины, ширины, твердости и качества покрытия (рисунок 6).



Рисунок 6 – Дальневосточная маршрутная сеть ВС RRJ-95 авиакомпании «Якутия»

Дальнейшее расширение географии полетов ВС RRJ-95 в рамках единой дальневосточной авиакомпании, а также в целях дальнейшего развития авиатранспортной системы и возможностей по улучшению показателей авиационной подвижности населения и транспортной доступности Дальнего Востока потребует увеличение перечня аэродромов с длинами ВПП в 2000 и менее метров. Выполнение регулярных рейсов или использование в качестве запасных данных аэродромов подлежит глубокой проработке с точки зрения детальных аэронавигационных расчетов и анализа степени влияния нескольких конструктивно-эксплуатационных факторов данного типа ВС, особенностей конструкции самого воздушного судна, конфигурации его систем, взлетно-посадочных характеристик, а также сертификационного базиса, где наиболее критичным является отсутствие одобрения полетов по правилам ETOPS, что создает серьезные ограничения по выбору оптимальных маршрутов. Особое внимание необходимо уделить вопросу ожидаемых взлетно-посадочных характеристик вновь создаваемой модификации RRJ-95 – Суперджет SJ100 NEW с полностью отечественным двигателем ПД-8, а значит, и реверсом тяги, колесами и тормозными устройствами российского производства, эффективность которых еще потребует изучения на основе опыта эксплуатации.

В сегменте внутрирегиональной авиации рассмотрен турбовинтовой Ил-114-300, рассчитанный на максимальную вместимость до 68 пассажиров, который должен заменить на внутренних авиалиниях устаревшие Ан-24 и Ан-26, а также самолеты иностранного производства аналогичного класса – европейские ATR42/72 и линейку самолетов Bombardier Dash8 Q300/300LR/400 производства Канады. Выполненная оценка и сравнительный анализ летно-технических характеристик объективно показывает преимущество Ил-114-300 как основного в будущем типа региональной авиации Арктики, имеющего лучшие в своем классе летно-технические характеристики и наибольший радиус выполнения разворотных рейсов. Сравнительный анализ дальности полета воздушных судов Ан-24, Bombardier Dash8 Q300LR и экстраполированный на летно-технические характеристики Ил-114 из Якутска по маршрутной сети Республика Саха (Якутия) показывает явное преимущество Ил-114 перед другими отечественными и зарубежными типами ВС по основным показателям – перевозимой пассажирской загрузке, багажа и груза. С использованием специализированной программы Performance Engineering Program на базе Узбекских авиалиний были выполнены аэронавигационные расчеты по маршрутной сети из Якутска в региональные центры Красноярск, Иркутск, Хабаровск и др. с протяженностью рейсов от 1 часа 55 минут в Нерюнгри и Мирный

часов и до 5,5 часов в Красноярск, которые также показали высокие показатели эффективности по соотношению перевозимой загрузки, дальности полета и расходу топлива. Таким образом, расчёты, подтвердили адекватность вышеприведенной сравнительной модели по внутрирегиональной маршрутной сети Республики Саха (Якутия) и основным направлениям Дальнего Востока, Сибири и Красноярского края.

В четвертой главе на основе современных методов бизнес-моделирования низкобюджетного сегмента получены результаты, показывающие, что критическую роль в деятельности низкобюджетных авиакомпаний, наряду с воздушными судами, имеют географический и инфраструктурный факторы. Дана оценка влияния аэропорта на деятельность низкобюджетных авиакомпаний, определены ключевые подсистемы низкобюджетной бизнес-модели с целью трансформации в дальнемагистральный сегмент. Исследованием географических и инфраструктурных факторов низкобюджетных авиакомпаний показано, что низкобюджетная бизнес-модель может успешно адаптироваться к дальнемагистральным маршрутам и к аэропортам со средними или даже малыми пассажиропотоками. Как наиболее критичное и определяющее потенциальный спрос, проведено исследование фактора системы предпочтений пассажиров. Методом сравнения выполнен анализ оптимальной линейки отечественных воздушных судов с точки зрения оценки сравнительных с западными аналогами характеристик вместимости, дальности и расхода топлива. Показана обоснованность вывода по выбору в пользу отечественных разработок.

Для исследования принципов бизнес-моделирования низкобюджетных авиакомпаний были рассмотрены такие вопросы, как методология бизнес-моделирования, системно-интегральная методология, факторы и параметры структурной организации базовой (архетипической) модели низкобюджетных авиакомпаний.

Рассмотрены способы и методы адаптации низкобюджетных компаний к дальнемагистральным маршрутам, которые исторически относятся к компетенции традиционных авиакомпаний. Показано, что дальнемагистральные маршруты представляют особый интерес в плане развития низкобюджетных компаний России как страны с уникальным соотношением факторов: протяженностью маршрутных сетей, неравномерностью размещения населения по территории, особо трудными погодными-климатическими условиями, предъявляющими предельные требования к эксплуатационным качествам ВС.

При определении перспектив низкобюджетных компаний на дальнемагистральных авиарейсах надо принять во внимание, что имеются ограничения, связанные с системой предпочтений групп пассажиров. Это связано с тем, что пассажиры первого и бизнес-классов имеют высокие требования к условиям полета, а такая категория пассажиров, как туристы и отдыхающие, менее требовательны и могут воспользоваться услугами низкобюджетных перевозчиков. Показано, что перспективы освоения низкобюджетными компаниями дальнемагистральных секторов вполне реальны, но требуют серьезных проработок в части анализа источников конкурентного преимущества с учетом факторов системы предпочтений групп пассажиров, а также практических решений по ликвидации слабых мест и усилению сильных позиций бизнес-моделей низкобюджетных компаний.

Предложена методика обеспечения авиатранспортной доступности и построения авиатранспортной системы Дальнего Востока Российской Федерации путем трансформации низкобюджетной бизнес-модели авиаперевозок в дальнемагистральный сегмент. Определены цели и задачи предлагаемого решения как метода обеспечения авиатранспортной доступности Дальнего Востока. В основе предлагаемого решения лежит метод обеспечения авиатранспортной доступности Дальнего Востока Российской Федерации на основе адаптации и развития традиционных авиакомпаний низкобюджетного сегмента в дальнемагистральном сегменте авиаперевозок по маршрутам, которые исторически относятся к компетенции полносервисных авиакомпаний.

Методика представлена как определение возможности трансформации низкобюджетной бизнес-модели, анализа и оценки применимости наработанных практических технологий, опыта

низкобюджетных компаний к специфике дальнемагистральных маршрутов. За теоретическую платформу исследования взята системно-интегральная методология, основу которой составляют такие дисциплины, как системный анализ и теория сложных систем, по которым сложный объект моделируется системой, состоящей из элементов – подсистем, определенным образом связанных друг с другом, затем подсистемы исследуются, после чего воссоздается вся система целиком. По этим принципам и выполнен анализ перспектив успешной реализации дальнемагистральных низкобюджетных авиаперелетов.

Определена оптимальная линейка воздушных судов для дальневосточных маршрутов методом сравнения характеристик и оценки преимуществ типов Ту-214, МС-21 и Ил-96-400М, так как дальнемагистральные маршруты предъявляют особые требования к флоту, на основе которого должно быть обеспечено успешное развитие низкобюджетных компаний России как страны с уникальным соотношением ключевых факторов – протяженности маршрутных сетей и неравномерностью заселения огромных территорий. Вышеприведенный анализ методом сопоставления общемировых практик и отечественной авиатранспортной системы в отношении способов и механизмов адаптации низкобюджетных компаний к дальнемагистральным маршрутам, которые исторически относятся к компетенции традиционных авиакомпаний, доказывает, что авиатранспортная система Российской Федерации имеет значительный нераскрытый потенциал и необходимые предпосылки для успешной трансформации наработанных отечественных практик низкобюджетной бизнес-модели в дальнемагистральный сегмент авиаперевозок.

В пятой главе приведены полученные новые результаты, связанные с разработкой и научным обоснованием оптимального модельного ряда ВС. Определено, что для решения задачи формирования флота единой дальневосточной авиакомпании необходимо применять метод исследования моделей воздушных судов через параметрическое моделирование оптимальной линейки ВС для эксплуатации в районах Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока. Рассмотренная математическая модель оптимизации модельного ряда ВС для эксплуатации и формирования парков авиакомпаний региона в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока показывает, что выполнение оптимизационной задачи расширения модельного ряда и увеличения количества ВС зависит от соотношения располагаемых производственных мощностей и ресурсов авиационной промышленности Российской Федерации.

В оптимальном проектировании количества и номенклатуры ВС региона рассматривались математические методы моделирования и оптимизации, которые успешно применяются для выбора наилучших в принятом смысле параметров и характеристик ВС или его подсистем на различных стадиях проектирования, где плановая номенклатура ВС зависит от η варьируемых параметров, которые будем считать точкой $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$ в η -мерном пространстве параметров.

Уравнения и неравенства:

$$F_m(\chi) \leq 0, \quad m = 1, \dots, M, \quad \chi \geq 0, \quad (1)$$

описывающие функционирование ВС, а также критерий оценивания $F_0(\chi)$ также зависит от χ . Задача оптимального проектирования номенклатуры ВС заключается в отыскании точки $\chi = \chi^*$ такой, что:

$$F_0(\chi^*) = \min F_0(\chi), \quad \chi \in U \quad (2)$$

или определении, что такого χ не существует для $F_0(\chi)$ на U .

Концепция с точки зрения системного научно-методического подхода к внешнему проектированию ВС заключается в том, что решение задачи (1) – (2) подразумевает разделение на параметрическую модель и операционную модель. Набор ключевых характеристик и параметров лежит в основе модели при параметрическом моделировании $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$, такие как расчетный показатель удельного расхода топлива, пассажироместимость, расчетная дальность полета и взлетно-посадочные характеристики. При операционном моделировании как объект моделирования выступает непосредственно само воздушное судно, характеризующееся эксплуатационной технологичностью, стоимостью поддержания летной годности и др.

Поскольку проектируемые ВС рассматриваются в совокупности с другими ВС, которые участвуют в авиатранспортных операциях, считается естественным назвать модели этого типа операционными. На параметрическом уровне генерируется некоторое конечное множество проектных вариантов ВС, из которых с помощью операционной модели формируется множество субоптимальных вариантов D . Лучший проект будет соответствовать $\chi^* \in D$, учитывая при этом ряд дополнительных, как правило, параметров, которые не формализуются, и отношений на этапе предварительного проектирования. Для построения множества D можно также использовать статистические методы, морфологический метод, неформальные методы, которые основаны на методах нечетких множеств. Операционная модель ВС отождествляется с целостным множеством ВС, связанных между собой взаимными отношениями. С помощью рассматриваемых соотношений модель объединяется в одно целое. С математической точки зрения это отношения типа неравенств, с физической – ограничения на ресурсы, функционирование и технологию выполнения транспортной операции.

Если, кроме системы ограничений, выбран критерий оценки оптимального варианта проектируемого $P_{то}$, операционную модель ВС можно записать в виде задачи математического программирования:

$$\min F_0(\chi_1, \dots, \chi_n) \quad (3)$$

при ограничениях

$$F_m(\chi_1, \dots, \chi_n) \leq 0, m = 1, \dots, M, \quad (4)$$

$$\chi = (\chi_1, \dots, \chi_n) \in D, \quad (5)$$

где D – некоторая область n -мерного евклидова пространства, которая часто отождествляется с неотъемлемым октантом пространства E_n .

Тогда модель внешнего проектирования ВС (3) – (5) в развернутом виде можно записать как линейную форму:

$$TC_{AK} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^{m+p_t} \frac{1}{(1-e)^t} \{c_{ijt}q_{ijt} + c_{it}q_{it}^p - O_{it}^T\}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{m+p_t} p_{ijt}q_{ijt} &\geq d_{jt}, j = \overline{1, a}; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{i=1}^{m+p_t} v_{ijt}q_{ijt} &\geq v_{jt}^*, j = \overline{1, a_b}, a_b \leq a_t; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{j=1}^a \varphi_j(q_{ijt}) &\leq a_{it} + \sum_{\tau=1}^t \Theta_{it\tau} q_{it}^p, i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{j=1}^a r_{ij}q_{ijt} &\leq R_{it}, i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_k} p_{ijt}q_{ijt} &\leq B_n, n = \overline{1, N}; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_n} q_{ijt} &\leq S_n, n = \overline{1, N}; t = \overline{1, T}, \\ \sum_{i=1}^{m+p_t} c_{it}q_{it}^p &\leq K_t, t = \overline{1, T}, \\ q_{ijt} &\geq 0, i = \overline{1, m+p_t}; j = \overline{1, a_t}; t = \overline{1, T}, \\ Y_{it} &\geq q_{it}^p \geq 0, i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \end{aligned}$$

где p_t – количество новых типов ВС (в виде проектов), предлагаемых авиакомпаниям авиапромышленностью в t -м году.

Сложность современных ВС не позволяет построить алгоритм, с помощью которого можно было бы найти за приемлемое для практики время все параметры и характеристики новых типов ВС, которые интересуют нас, не опираясь на прототипы.

Потенциальный рыночный заказ новых типов ВС сформируется в виде $\sum_{t=1}^T q_{it}^{p*} = q_i^{p*}$, $i = m+1, \dots, p_t$. В зависимости от заказа q_i^p любой разработчик номенклатуры ВС принимает решение о целесообразности производства предлагаемого типа ВС с учетом отпускной цены C_{it} и себестоимости производства одного ВС. С другой стороны, авиакомпании тоже принимают решение о покупке того или иного типа ВС в необходимом ей количестве, где кроме стоимости лизинга или покупки, стоимости поддержания летной годности, в расчет принимаются летно-технические характеристики самого воздушного судна, как функция способности обслуживать планируемую маршрутную сеть авиакомпании. Этот итерационный процесс согласования цен и назначенных маршрутов продолжается до тех пор, пока авиакомпании и авиапромышленность не придут к компромиссу.

При формировании системы формализованных критериев была обоснована необходимость введения дополнительного ограничения количества ВС для дальневосточной маршрутной сети, что напрямую зависит от эксплуатационных и параметрических характеристик в паре «воздушное судно и аэродром», что также взаимосвязано с параметрами построения перспективной маршрутной сети.

Первое ограничение модели оптимизации модельного ряда воздушных судов для условий эксплуатации на Крайнем Севере, в Арктике и на Дальнем Востоке связано с планированием авиапарка для единой дальневосточной авиакомпании и имеет следующий формализованный вид:

$$\Delta N_{it}^{\max} = \min \{ N_{it}^{\text{налич}} - \max + \dot{N}_{it}^{\max} \cdot \Delta t_{\tau} \}; \left[\frac{S_{\tau}^{\text{зад}}}{C_{1j}} \right], \quad (6)$$

где $\Delta N_{j\tau}^{\max}$ – максимально возможное количество самолетов j -го типа, доступных для закупки на российском рынке на интервале времени τ ;

τ – текущий интервал времени поставки t ;

$N_{it}^{\text{налич}} - \max$ – максимальное количество самолетов j -го типа, которые уже изготовлены (имеются на рынке) и могут быть закуплены (включая лизинг) и поставлены в работу на τ -м интервале времени;

$\dot{N}_{it}^{\max}$ – максимально возможный темп серийного производства самолетов j -го типа на τ -м интервале времени;

$\left[\frac{S_{\tau}^{\text{зад}}}{C_{1j}} \right]$ – определенное с округлением до наименьшей целой величины максимальное количество

самолетов j -го типа, которое может быть закуплено на τ -м интервале времени при финансовых ограничениях $S_{\tau}^{\text{зад}}$;

C_{1j} – стоимость закупки одного самолета j -го типа.

Выражение (6) приведено с учетом того, что при формировании программы развития флота гражданской авиации осуществляется разбивка периода планирования $[t_0, T_{\text{зад}}]$ на конечное количество T равномерных отрезков – интервалов, продолжительностью Δt каждый, т.е. $T = \frac{T_{\text{зад}} - t_0}{\Delta t}$. При этом считается, что поставка *новых* самолетов на каждом интервале времени будет происходить в середине каждого интервала, и новые самолеты сразу после поставки начинают использоваться по назначению.

Как было указано выше, для исследования использованы такие факторы, как производственно-ресурсный потенциал, маршрутная сеть, параметры аэродромов для расчета консонанса – коэффициента выравнивания модели по значимым параметрам.

Исследованием также установлено, что для оценки стоимостных показателей может применяться понятие типового жизненного цикла (ЖЦ) авиационной техники и типового распределения его стоимости по основным стадиям и этапам, что является основным инструментом оценки прогнозных значений стоимости этапов ЖЦ моделей ВС, при этом существуют определенные отличия в распределении стоимостей типичного жизненного цикла авиационной техники. В общемировой практике принято различать три основных периода эксплуатации и жизненного цикла ВС, его старения от состояния нового (первые 5 лет), через состояние максимальной надежности в течение последующих 15 лет и на заключительном этапе ЖЦ достижения возраста стареющего ВС до его списания.

Для формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития системы авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на долгосрочной перспективе также была обоснована необходимость учета стоимости закупки единицы серийного образца воздушного судна j -го типа, который может рассматриваться как альтернативный тип новой авиационной техники для приобретения необходимых возможностей. Также обязательному учету подлежит обобщенная стоимость года эксплуатации одного самолета j -го типа.

Математическое выражение, описывающее финансовую составляющую рациональной программы развития системы гражданской авиации Крайнего Севера с учетом стоимости закупки самолетов авиакомпаниями и финансовых затрат на всем сроке их эксплуатации, имеет следующий вид:

$$S = \int_0^{T_{\text{зад}}} \left(\sum_{j=1}^n \left[C_{1j} + \bar{C}_{1j}^{\text{экспл}} \int_t^{T_{\text{зад}}} U_{+(\tau)} d\tau \right] N_j(t) \right) dt,$$

где S – общие расходы ресурсов (в денежном виде), необходимые на закупку и эксплуатацию самолетов с момента их поставки на всей глубине программирования $T_{\text{зад}}$;

$N_j(t)$ – производимое по времени количество самолетов j -го типа из n -альтернативных типов, которые закупаются, как функция от времени (распределение закупки самолетов по времени на периоде планирования);

C_{1j} – стоимость закупки одного самолета j -го типа;

$\bar{C}_{1j}^{\text{экспл}}$ – обобщенная стоимость года эксплуатации одного самолета j -го типа;

$U_{+(\tau)}$ – единичная асимметричная функция, такая, что для текущего времени τ имеет вид:

$$U_{+(\tau)} = \begin{cases} 0, & \text{при } \tau < 1; \\ 1, & \text{при } \tau \geq 1, \end{cases} \text{ и характеризующая момент начала несения эксплуатационных расходов}$$

и закупки определенного количества самолетов.

Обобщенную стоимость эксплуатации одного самолета j -го типа C_{1j} можно рассчитать, исходя из типичного распределения стоимости ЖЦ самолетов и ориентировочных сроков их эксплуатации по выражениям:

$$\bar{C}_{1j}^{\text{экспл}} = \frac{C_{1k} \cdot k_3}{(k_1 + k_2) \cdot 100\%},$$

где C_{1j} – стоимость закупки одного самолета j -го типа; k_1, k_2 , – часть затрат в общей стоимости ЖЦ самолета, выпадающего на разработку и производство отдельного образца данного типа, соответственно; k_3 – доля затрат в общей стоимости ЖЦ самолета, выпадающего на эксплуатацию отдельного образца данного типа.

Общие затраты на эксплуатацию и использование по назначению отдельного самолета будет связано со стоимостью единицы следующим соотношением:

$$\bar{C}_{1j}^{\text{экспл}} = 1,56 \cdot C_{1j}.$$

Ежегодные обобщенные эксплуатационные расходы в пределах принятых предположений можно оценить с помощью выражения:

$$\bar{C}_{1j}'_{\text{экс}} = \frac{1,56 \cdot C_{1j}}{T_j^{\text{служ}}},$$

где $T_j^{\text{служ}}$ – назначенный срок службы самолетов j -го типа (в годах).

Общее выражение расходов при учете неравномерного распределения годовой стоимости эксплуатации современных ВС и усреднении указанной стоимости только на первых двух периодах эксплуатации (т.е. до 15 лет) будет иметь вид:

$$S = \int_0^{T_{\text{зад}}} \sum_{j=1}^n \left[1 + \frac{LC_j \cdot \ln(1,03 \div 1,07)}{(1,03 \div 1,07)^{T_j^{\text{служ}}-15} + 15 \cdot \ln(1,03 \div 1,07) - 1} \cdot (T_{\text{зад}} - t) + \right. \\ \left. + \delta_t \cdot \frac{LC_j \cdot (1,03 \div 1,07)^{T_{\text{зад}}} }{(1,03 \div 1,07)^{T_j^{\text{служ}}-15} + 15 \cdot \ln(1,03 \div 1,07) - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1,03 \div 1,07)^{T_{\text{зад}}-t}} \right) \right] \cdot C_{1j} \cdot \dot{N}_j(t) dt,$$

где $\delta_t(\tau)$ – вспомогательный символ, характеризующий сроки эксплуатации партии N_{jk} самолетов j -го типа.

В шестой главе представлен результат практической реализации разработанной методологии построения эффективной авиатранспортной системы Крайнего Севера, Арктики, Сибири и Дальнего Востока. Определены и обоснованы основные положения создания единой дальневосточной авиакомпании через развитие единой маршрутной сети, парка и летно-технической эксплуатационной инфраструктуры Дальневосточного региона. На основании указанных положений сформулирована концепция создания единой Дальневосточной авиакомпании в формате альянса авиакомпаний под лидерством «Аврора», которая позволила реализовать проект и выполнить поручение Президента Российской Федерации по созданию единой дальневосточной авиакомпании. В качестве экономико-технологической платформы реализации проекта исследован потенциал возможного использования механизмов ГЧП при решении проблем развития региональной авиации Крайнего Севера, Арктики, Сибири и Дальнего Востока. В обращении к работникам транспортной отрасли страны 20 ноября 2023 года Президентом Российской Федерации было подчеркнуто, как особенно важное, развитие государственно-частного партнерства (ГЧП) в транспортной сфере, строительстве транспортной инфраструктуры, объектов транспорта и транспортного сообщения.

Показано, что современное состояние и количественные показатели состояния аэродромной сети в дальневосточном регионе не удовлетворяют требованиям настоящего периода развития экономики и общества, требуя активного развития форм взаимодействия государства и частного капитала. Вместе с тем не стоит недооценивать специфику отечественных условий, в которых осуществляется исполнение проектов ГЧП, так как риск проекта ГЧП связан с качеством прогнозирования финансовой модели, и опасность неисполнения проекта возникает в случае, если реальные параметры проекта значительно ниже планируемых. Принимая во внимание Российскую специфику реализации проектов на основе ГЧП, особое внимание при разработке концепции создания единой дальневосточной авиакомпании уделялось географическим и климатическим особенностям дальневосточного региона, включающего в себя Крайний Север с экстремальным климатом – Якутия, Чукотка и Арктика.

Созданная концепция расположения центров ТОиР в ДФО согласно специализации по типам ВС показала значительный эффект снижения издержек авиакомпаний на поддержание летной годности ВС. Показано, что до 2022 года было внедрено 20 новых маршрутов, а их общее количество в 2025 году благодаря деятельности, созданной единой Дальневосточной авиакомпании должно составлять 1,5 тысячи. В ходе реализации проекта разработана единая тарифная политика с применением сквозного тарифа, программы лояльности пассажиров с возможностью приобретения многосегментного маршрута в одном классе по всей маршрутной

сети альянса, что способствует росту авиационной подвижности всех категорий населения ДФО. Полученные показатели роста доказывают правильность выбранной стратегии создания единой дальневосточной авиакомпании. В процессе реализации были обозначены наиболее характерные подходы к формам участия государства в решении задач развития региональной авиации Крайнего Севера, Арктики, Сибири и Дальнего Востока. Определены основные параметры авиасети и формирование финансовой модели организации местных и региональных авиаперевозок в труднодоступные населенные пункты Дальневосточного федерального округа выполнено на основании опыта и наработок двух крупнейших авиакомпаний региона: АО «Авиакомпания «Аврора» и АО «Авиакомпания «Якутия». Обе авиакомпании на протяжении долгого времени осуществляют авиаперевозки в труднодоступные населенные пункты Дальнего Востока. За этот период был накоплен значительный опыт выполнения полетов, выработаны методики эффективного выполнения полетов на местных и региональных авиалиниях. Участниками процесса построения единой системы авиаперевозок на территории Дальнего Востока являются все 11 субъектов Дальнего Востока, а также местные и региональные компании, осуществляющие полёты. В соответствии с принятым решением «Дальневосточная авиакомпания» является вертикально интегрированным холдингом. Головной компанией является «АО «Авиакомпания «Аврора» (рисунок 7).

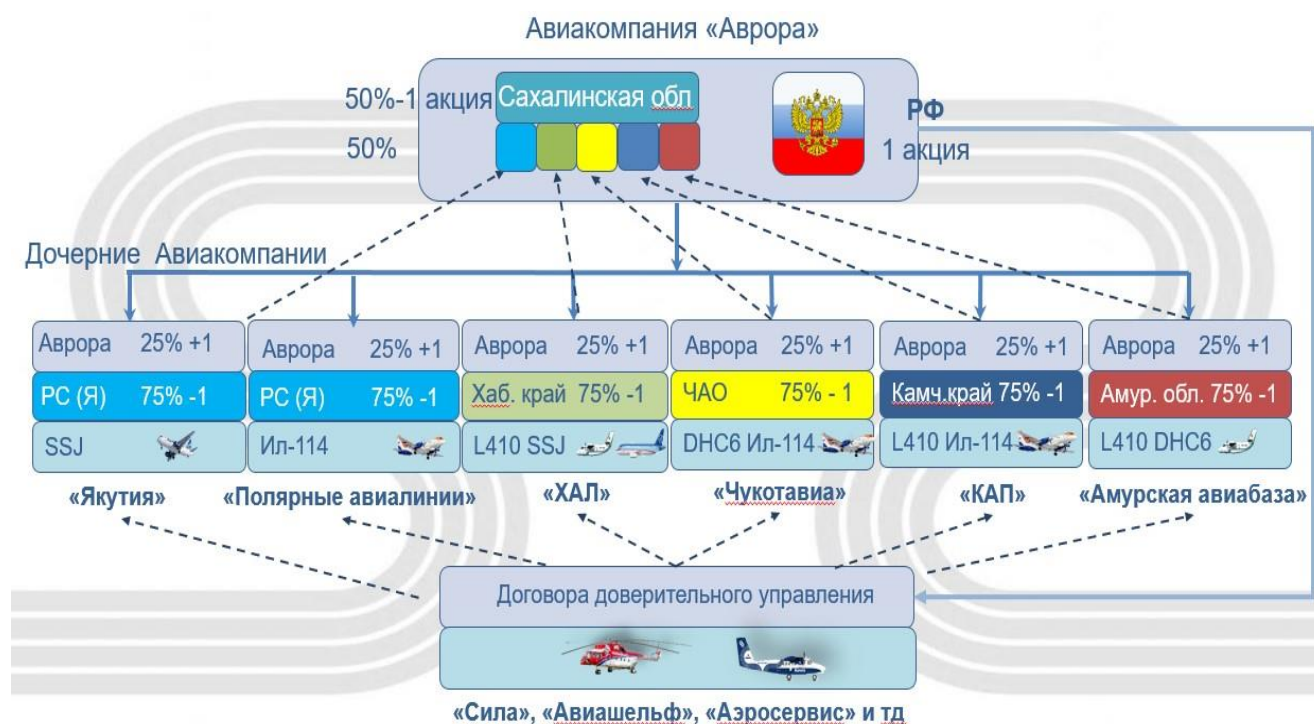


Рисунок 7 – Корпоративная структура единой дальневосточной авиакомпании

В основе объединенной программы полетов лежит единый реестр социально значимых маршрутов Дальнего Востока, сформирована единая программа полетов. Был принят во внимание базирующийся в ДФО совокупный парк воздушных судов всех шести вышеперечисленных авиакомпаний, их пассажировместимость, взлетно-посадочные характеристики с учетом состояния аэродромной сети. Исходя из этого, определена маршрутная сеть и частотность выполнения рейсов с учетом сезонности.

Для целей разработки финансовой модели определены наиболее востребованные населенные пункты, нуждающиеся в круглогодичном регулярном пассажирском авиасообщении. Для исключения субъективного подхода отдельно взятой авиакомпании, совместно с Министерством по развитию Дальнего Востока и Арктики была проведена работа со всеми одиннадцатью субъектами ДФО. В итоге проведенной совместной работы авиакомпаний и региональных Правительств отработан единый реестр, включающий 385 труднодоступных

населенных пункта ДФО и 535 маршрутов, из них 66 по межрегиональным и 469 по местным маршрутам с распределением по субъектам ДФО.

Таким образом, сформированная маршрутная сеть обеспечит транспортной доступностью 410 труднодоступных населенных пункта из общего числа местных и межрегиональных пунктов к 2025 году (рисунок 8).



Рисунок 8 – Сформированная общая маршрутная сеть Дальневосточного федерального округа, включая международные, региональные, межрегиональные и маршруты между труднодоступными населенными пунктами

Успешная реализация плана создания единой дальневосточной авиакомпании имеет целью получить мультипликативный эффект в экономической и социальных составляющих стратегического развития региона, создание дополнительных рабочих мест и, главное, решения проблем транспортной доступности Дальнего Востока, в особенности в удаленных и не имеющих транспортных альтернатив районах Крайнего Севера и Арктики.

Условием успешного функционирования единой дальневосточной авиакомпании является локализация подготовки летного и технического состава на базе Якутского и Хабаровского филиалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации». Кроме получения среднего и высшего образования на базе вышеупомянутых учебных заведений, подготовки всей номенклатуры авиационных специалистов, необходима локализация переподготовки летного и технического состава по программам подготовки по типам ВС персонала авиакомпаний ДФО.

Важнейшей составляющей в самой концепции и подходах к ее реализации плана создания является консолидация усилий по обновлению флота авиакомпаний региона через единый заказ воздушных судов, что позволит добиться снижения себестоимости содержания и эксплуатации ВС. В целях дальнейшего развития плана создания единой дальневосточной авиакомпании произведена оценка потребного обновления парка ВС, на основании которой между ПАО «ГТЛК», АО «Аврора», Минпромторгом России и авиапроизводителями сформирован и подписан график поставки 45 отечественных воздушных судов на период до 2025 года.

Практическое выполнение проекта на основании вышеизложенных принципов подчеркивает необходимость реализации нескольких важных инфраструктурных решений.

Первым таким решением является создание двух опорных региональных центров по ТОиР и 7 линейных станций по техническому обслуживанию по типам ВС в основных аэропортах ДФО. Передача опыта и компетенций Якутского Центра по ТОиР по ТО SSJ-100 позволят развить многопрофильный Центр по ТОиР в Хабаровске до уровня регионального центра по технической эксплуатации перспективных ЛМС-901 «Байкал», Ил-114-300, SJ-100 NEW и MC-21. Поэтому приоритетным является создание специализированного Центра технического обслуживания и ремонта в составе двух имеющихся авиационно-технических баз и ангарных мощностей в Якутске и Хабаровске (рисунок 9).



Рисунок 9 – Карта развития опорных Центров по ТОиР в аэропорту Якутска и аэропорту Хабаровск, а также линейных станций в крупнейших аэропортах ДФО

Совместная и скоординированная политика использования опорных Центров по ТОиР в Якутске и Хабаровске с формированием единых складов запасных частей, логистических схем их поставки позволит получить искомый синергетический эффект и, соответственно, снижение издержек авиакомпаний на поддержание летной годности и себестоимости летного часа.

Наряду с этим, создание единой авиационно-учебной базы подготовки авиаперсонала с оснащением необходимыми тренажерными комплексами всей линейки отечественных ВС Ил-114, SSJ100 позволит развить в Хабаровске компетенции по полному циклу подготовки авиаперсонала и для перспективных отечественных ВС SJ100 и MC-21.

В долгосрочной перспективе и с учетом выгодного географического расположения Хабаровска и его международной транспортной доступности, позволит сделать его привлекательным и для заказчиков Юго-Восточной Азии, как центра с широкими возможностями полного цикла сопровождения эксплуатации перспективных отечественных ВС – от технического обслуживания, ремонта, обеспечения запасными частями до подготовки всей линейки авиационного персонала, что в совокупности обеспечит единую дальневосточную авиакомпанию и авиатранспортную систему Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока надежной инфраструктурой поддержания летной годности единого парка воздушных судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации:

1. Достигнута цель диссертационного исследования – найдено решение научной проблемы построения эффективной авиатранспортной системы Дальнего Востока на основе разработанной методологии, охватывающей методы решения проблемы поддержания летной годности современных ВС в условиях низких и экстремально низких температур, формирования состава и структуры парка воздушных судов, аэродромной и маршрутной сети, повышения эффективности деятельности авиапредприятий, систем их материально-технического и топливного обеспечения.

2. Определены основные особенности авиатранспортной сети региона, главная из которых – безальтернативный характер использования воздушного транспорта на значительной части территории в связи с высокой удаленностью от Европейской части России либо в связи с практическим отсутствием наземного транспортного сообщения. Территории с низкими зимними температурами охватывают примерно 3/4 регионов страны. Показано, что применительно к задачам построения эффективной авиатранспортной системы и региональной авиации Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока особое значение имеет погодноклиматический фактор, обусловленный суровостью климата, где факторы ветра и температуры являются наиболее критичными с точки зрения деятельности человека и поведенческих характеристик машин и механизмов, таких как авиационная техника.

3. Показано, что современное состояние авиации региона усугубляется системным кризисом, связанным с проблемами в авиастроительной отрасли, влекущими дефицит поставок современных ВС российского производства и авиадвигателей, интенсивное старение имеющегося парка западной авиатехники, проблемы поддержания летной годности ВС западного производства в связи с прекращением поставок запчастей, летно-технической документации и конструкторского сопровождения.

4. Доказано, что решение в условиях выдвинутой автором гипотезы, как определяющей главное направление научного поиска, где с целью решения поставленной научной проблемы выполнено системное моделирование на основе факторного взаимодействия основных элементов и моделей воздушного транспорта «аэропорт — самолет — топливо», позволило впервые разработать методический комплекс научного обоснования структуры авиатранспортной системы региона, включающий механизмы выбора типов ВС, формирования их парков и распределения ВС по маршрутной сети, с учетом специфики длительного цикла доставки топлива в регион и его последующего использования (в течение года, или более года).

5. Определено, что для решения задачи формирования флота единой дальневосточной авиакомпания необходимо применять метод исследования математических моделей воздушных судов через параметрическое моделирование оптимальной линейки ВС на основе представленных разработчиками ВС основных характеристик и параметров для эксплуатации в районах Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

6. Разработан и научно обоснован оптимальный модельный ряд ВС для формирования парков авиакомпаний региона Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

7. Рассмотренная математическая модель оптимизации модельного ряда ВС для эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока показывает, что выполнение задачи оптимизации требует анализа планов Минпромторга Российской Федерации по расширению модельного ряда и увеличению количества самолетов гражданского сегмента в соотношении с располагаемыми производственными мощностями и ресурсами авиационной промышленности Российской Федерации.

8. Определено, что для решения задачи формирования флота единой дальневосточной авиакомпания необходимо применять метод исследования моделей воздушных судов через параметрическое моделирование оптимальной линейки ВС для эксплуатации в районах Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока. Предложено рассматривать параметрическое

моделирование как метод исследования моделей воздушных судов через представленные их разработчиками основные характеристики и параметры.

9. Установлено, что достоверного результата при решении таких слабоформализованных задач, как принятие решений при управлении процессами и системами, в средне- и долгосрочной перспективе, можно достичь с использованием методов, основывающихся на различных идеях и подходах, а именно композициях методов исследования временных рядов. Поэтому для исследования использованы такие факторы, как производственно-ресурсный потенциал, маршрутная сеть, параметры аэродромов для расчёта консонанса – коэффициента выравнивания модели по значимым параметрам.

10. Проведена оценка стоимости жизненного цикла воздушных судов на основе сравнительного анализа. По результатам проведенного анализа установлено, что существуют определенные отличия в распределении стоимостей типичного жизненного цикла авиационной техники, обусловленное наличием в стране ВС отечественного и зарубежного производства. Исходя из этого установлено, что типичное распределение стоимости жизненного цикла авиационной техники, разработка и производство которой проходило внутри страны, и зарубежных ВС имеют значительные отличия, которые необходимо учесть при построении парка ВС для потребностей гражданской авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

11. Показано, что типичное распределение стоимости ЖЦ самолетов по основным стадиям и этапам позволяет определить зависимость между стоимостью серийного образца авиационной техники и расходами на стадию использования его по назначению, при условии выполнения в полном объеме всех видов работ по поддержанию летной годности, эксплуатации и ремонту.

12. Исследование предложенной методики формирования системы формализованных критериев рациональности программы развития авиатранспортной системы и гражданской авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на долгосрочной перспективе показывает, что для формирования количественной системы формализованных критериев рациональности вышеуказанной программы развития системы авиации Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на долгосрочной перспективе была обоснована необходимость учета стоимости закупки единицы серийного образца воздушного судна j -го типа, который может рассматриваться как альтернативный тип новой авиационной техники для приобретения необходимых возможностей.

13. Также доказано, что обязательному учету подлежит обобщенная стоимость года эксплуатации одного самолета j -го типа. Обосновано, что полученные аналитические материалы необходимо сопоставить с планом расширения маршрутной авиатранспортной сети и календарным планом производства авиационной техники как в целом для авиационной отрасли страны, так и для единой дальневосточной авиакомпания.

14. Научно обоснована транспортная схема авиатопливообеспечения региона с учетом факторов поставок топлива в аэропорты Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока с применением методов корреляционно-регрессионного анализа.

15. Выполненная оценка факторов оптимизации завоза авиатоплива в регион Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока показывает, что наиболее весомыми факторами являются количество перевалок топлива и стоимость его транспортировки.

16. В качестве альтернативного решения по оптимизации логистики поставляемого в удаленные аэропорты авиатоплива предложен и обоснован метод транспортировки с помощью танк-контейнеров, позволяющий снизить число перевалок топлива с восьми-девяти до трех-четырех, что экономически более выгодно и позволяет сохранить качество поставляемого авиационного топлива.

17. Получены весомые научные результаты исследования методологических аспектов низкотемпературной надежности авионики при эксплуатации современных воздушных судов в условиях Крайнего Севера и Арктики. Показано, что современные ВС с цифровым бортовым комплексом авионики по показателям надежности не полностью отвечают требованиям для работы в условиях экстремально низких температур аэропортов Крайнего Севера и Сибири, в

связи с этим обозначены подходы и рассмотрены методы решения научной задачи поддержания летной годности и эксплуатационной надежности современных воздушных судов в условиях низких и экстремально низких температур. Выявлено, что при низких и экстремально низких температурах возникают проблемы с поддержанием летной годности ВС прежде всего из-за возрастания параметра потока отказов.

18. Автором получено и научно обосновано, что понятия надежности, безопасности полетов и поддержания летной годности ВС с бортовым цифровым комплексом авионики могут рассматриваться как целостная группа понятий, к общим признакам которых относятся отказы с обоснованием теоретических аспектов исследования, а также метода определения соотношения количества неявных отказов авионики. Получено, что указание на такой тип дефектов как не учитываемые отказы, имеет принципиальное значение при обсуждении сбоев авионики, наблюдаемых при климатических и сертификационных испытаниях ВС в условиях экстремально низких температур. В частности, к такому роду дефектов могут быть отнесены отказы авионики с неявным или скрытым характером, а также малоизученные отказы или отказы неопределенного происхождения, где применение политики *NFF – No Fault Found* позволяет значительно сократить затраты авиакомпаний на ПЛГ в части минимизации необоснованных замен дорогостоящих компонентов авионики и отсутствия возможности отправки их в зарубежные центры проверок и ремонтов, что в условиях базирования современных ВС в удаленных аэропортах Крайнего Севера и Арктики является наиболее разумным и экономически обоснованным.

19. На основании выполненного теплофизического моделирования надежности систем авионики найдено научно-обоснованное решение – разработан метод тепловой компенсации, обеспечивающий надежность безопасного функционирования бортового комплекса авионики и поддержание в целом летной годности современных воздушных судов в условиях экстремально низких температур Арктики и Крайнего Севера до минус – 54⁰С градусов Цельсия. На основе полученных результатов теплофизического моделирования, автором разработано и закреплено патентом изобретение для поддержания температуры в отсеке авионики воздушных судов при обеспечении длительных межрейсовых стоянок в условиях экстремально низких температур удаленных аэропортов Арктики и Крайнего Севера.

20. На основании проведенного диссертационного исследования, можно сделать вывод, что дальнейшее освоение Арктики и Крайнего Севера, а также развитие полярной авиации, обеспечение безопасного функционирования Северного Морского Пути (СМП) без современной полярной авиации и создания современных ВС «под Арктику» невозможны.

21. На основе разработанных в диссертации подходов сформирована общая концепция формирования и реализации проекта единой дальневосточной авиакомпании, методы и принципы формирования маршрутной сети, парка ВС, эффективные логистические схемы материально-технического обеспечения, создания двух опорных учебных центров и двух опорных организаций по ТОиР с сетью из 8 линейных станций в качестве принципиально нового подхода в построении эффективной авиатранспортной системы Дальнего Востока.

22. Автором обосновано, что реализация проекта создания единой дальневосточной авиакомпании по поручению Президента и Правительства РФ обеспечит рост коэффициента подвижности населения в сегменте местных и региональных авиаперевозок с нынешнего 0,35 до уровня среднероссийского 0,72, а также увеличение количества перевезенных пассажиров дальневосточников с 1 038 тыс. чел. в 2019 году до 2 030 тыс. чел. в 2025 году, с целевым показателем достижения ежегодной перевозки 4 000 тыс. чел. к 2030 году.

23. Таким образом, на основе разработанной автором методологии построения эффективной авиатранспортной системы, в диссертационном исследовании решена имеющая важное народно-хозяйственное и социально-экономическое значение научная проблема обеспечения роста уровня транспортной доступности и авиационной подвижности населения Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока до общероссийских показателей в целях решения стратегических задач развития важнейшего региона страны в новых технологических, экономических и геополитических условиях.

24. Перспективными направлениями дальнейших разработок по теме диссертации являются исследования в области развития транспортных систем доставки грузов в регион Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока беспилотными летательными аппаратами, создания надежной инфраструктуры их обслуживания в аэропортах Арктической зоны для обеспечения устойчивого функционирования Северного Морского Пути (СМП).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях:

1. Горбунов, В. П. Методы оптимизации модельного ряда при формировании состава и структуры парка воздушных судов в рамках создания единой дальневосточной авиакомпания // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2024. – № 3 (42). – DOI 10.51955/2312-1327_2024_3_134
2. Горбунов, В. П. Метод формирования оптимальной линейки воздушных судов через параметрическое моделирование / В.П. Горбунов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2024. – № 46. – С. 96–105.
3. Горбунов, В. П. Адаптация технологий и практик низкобюджетных авиакомпаний в дальнемагистральном сегменте перевозок для повышения транспортной доступности Дальнего Востока / В. П. Горбунов, И. П. Чалик // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2024. – № 46. – С. 74–85.
4. Горбунов, В. П. Исследование влияния взлётно-посадочных характеристик самолёта RRJ-95B/LR на перспективы расширения его эксплуатации в дальневосточном регионе / В. П. Горбунов, А. М. Стручкова // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2023. – № 44. – С. 60–70.
5. Горбунов, В. П. Основные аспекты создания единой дальневосточной авиакомпании через развитие единой маршрутной сети, флота и летно-эксплуатационной инфраструктуры дальневосточного региона // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2023. – № 2 (37). – DOI 10.51955/2312-1327_2023_2_44
6. Горбунов, В. П. Теплофизическое моделирование при оценке низкотемпературной надежности воздушных судов с цифровым бортовым комплексом / В. П. Горбунов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2022. – № 38. – С. 27–41.
7. Горбунов, В. П. Метод решения проблемы транспортировки авиатоплива в труднодоступные аэродромы Арктических районов Якутии и Крайнего Севера / В. П. Горбунов, А. М. Стручкова // Арктика: экология и экономика. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 271–279.
8. Горбунов, В. П. Анализ применимости корреляционно-регрессионных моделей для оценки факторов поставки авиатоплива в труднодоступные арктические районы Крайнего Севера / В. П. Горбунов, В. М. Самойленко, С. В. Кузнецов, А. М. Стручкова // Научный вестник МГТУ ГА. – 2022. – Т. 25. – № 6. – С. 23–39.
9. Горбунов, В. П. Перспективы развития региональной авиации Крайнего Севера и задачи увеличения транспортной доступности Арктики и Дальнего Востока / В. П. Горбунов // Арктика: экология и экономика. – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 367–375.
10. Горбунов, В. П. Методология оценки эффективности авиатранспортной сети / В. П. Горбунов // Наука и Бизнес: Пути развития. – 2022. – № 5 (131). – С. 153–160.
11. Горбунов, В. П. Анализ практики и перспективы государственной поддержки региональной авиации при решении стратегических инфраструктурных проектов / В. П. Горбунов, В. М. Рухлинский // Качество и Жизнь. – 2022. – № 3 (35). – С. 46–52.
12. Горбунов, В. П. Роль природных и антропогенных факторов в современном состоянии региональной авиации Арктики и Крайнего Севера / В. П. Горбунов, В. М. Рухлинский, А. М. Саввина // Наука и Бизнес: Пути развития – 2020. – № 6. – С. 30–37.
13. Горбунов, В. П. Эволюция бизнес-моделей низкобюджетных авиакомпаний – фактор аэропорта / В. П. Горбунов // Качество и Жизнь. – 2019. – № 2. – С. 106–112.

14. Горбунов, В. П. Эволюция представлений о транспортной доступности / В. П. Горбунов // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 290.
15. Горбунов, В. П. Анализ перспектив развития низкобюджетных авиакомпаний в современных условиях российской авиатранспортной системы / В. П. Горбунов // Качество и Жизнь. – 2018. – № 1. – С. 60–65.
16. Горбунов, В. П. Принципы и методология бизнес-моделирования / В. П. Горбунов // Качество и Жизнь. – 2018. – № 2. – С. 28–35.
17. Горбунов, В. П. Системно-интегральная методология при исследовании принципов бизнес-моделирования низкобюджетных авиакомпаний / В. П. Горбунов // Качество и Жизнь. – 2018. – № 3. – С. 45–52.
18. Горбунов, В. П. Факторы и параметры структурной организации базовой (архетипической) модели низкобюджетных авиакомпаний / В. П. Горбунов // Качество и Жизнь. – 2018. – № 4. – С. 16–22.
19. Горбунов, В. П. Метод повышения авиатранспортной доступности через внедрение инновационной бизнес-модели низкобюджетных авиакомпаний / В. П. Горбунов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2018. – № 22. – С. 143–151.
20. Горбунов, В. П. Проблемы и особенности эксплуатации авионики воздушных судов иностранного производства в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера, Сибири и Якутии / В. П. Горбунов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. – № 213. – С. 85–90.
21. Горбунов, В. П. Решение проблем адаптации и эксплуатации систем жизнеобеспечения воздушных судов западного производства в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера, Сибири и Арктики / В. П. Горбунов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. – № 218. – С. 50–54.
22. Горбунов, В. П. Проблемы эксплуатации современных самолетов в условиях низких и сверхнизких температур Сибири, Крайнего Севера и Арктики / В. П. Горбунов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 204. – С. 110–114.
23. Горбунов, В. П. Проблемы предотвращения развития коррозии и обеспечения безопасной и длительной эксплуатации воздушных судов иностранного производства в климатических условиях Российской Федерации / В. П. Горбунов // Практика Противокоррозионной защиты. – 2014. – № 4 (74) – С. 57–61.

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus, Web of Science и IEEE Xplore:

1. Gorbunov V., Kuznetsov S., Savvina A., Poleshkina I. Methodological aspects of avionics reliability at low temperatures during aircraft operation in the Far North and the Arctic // Transportation Research Procedia. – 2021. – N. 57. – P. 220–229.
2. Poleshkina I., Gorbunov V. Development of the air transport network in the Arctic zone of Eastern Siberia // Transportation Research Procedia. – 2021. – N. 57. – P. 443–451.
3. Gorbunov V. P. Identifying and Systemizing Key Factors behind the Current State of Regional Aviation of Russia's Far North and Arctic // 2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N. E. Zhukovsky, TSCZh 2022. – Pp. 1–5. IEEE Xplore. DOI: 10.1109/TSCZh55469.2022.9802466.

Монографии:

1. Горбунов, В. П. Самолет и холод. Климатические испытания и эксплуатация воздушных судов в условиях экстремально низких температур, Арктики, Сибири и Крайнего Севера: монография / В. П. Горбунов. – СПб.: Научно-технологические, 2023. – 712 с.
2. Горбунов, В. П. и др. Проблемы внедрения и применения результатов инновационных исследований и пути их решения. Математическая модель работы аэропортов Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока на основе экономического и топливного критериев в условиях транспортной системы страны: монография. Выпуск 85 / В. П. Горбунов; под ред. А. А. Сукиасян. – Уфа: Аэтерна, 2024. – 336 с.

Патент на изобретение:

Горбунов, В. П. Устройство для поддержания температуры в отсеке авионики самолета. Заявка № 2022128355 от 01.11.2022. Патент на изобретение 2788242 С1, 17.01.2023.

Публикации в других изданиях:

1. Горбунов, В. П. Определение и анализ релевантных факторов в деятельности аэропортов на основании принципа декомпозиции операционных моделей // Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции «Воздушный транспорт – основа логистических коммуникаций» (Авиатранс – 2022), МГТУГА, Ростовский филиал, Ростов-на-Дону, 2022 – С. 60–68.
2. Горбунов, В. П. Анализ наиболее критичных факторов в обеспечении транспортной доступности Арктики на примере транспортной системы Республики Саха (Якутия) // Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм». – Воронеж: ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2021. – С. 61–71.
3. Горбунов, В. П. К вопросу обеспечения бесперебойной эксплуатации ВС типа Боинг 737NG в условиях экстремально низких температур Арктики, Крайнего Севера и Якутии // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 50-летию МГТУ ГА. – Москва, 2021. – С. 247–249.
4. Горбунов, В. П. Анализ практики и перспективы государственной поддержки региональной авиации // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 50-летию МГТУ ГА. – Москва, 2021. – С. 427–430.
5. Горбунов, В. П. Интеграция и синергетический эффект при создании базовой дальневосточной авиакомпании // Сборник тезисов докладов XVII научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». – М.: Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского, 2020 – С. 155–156.
6. Горбунов, В. П. «Спящий спрос» и «эффект LCC» как факторы роста пассажиропотока и количества низкобюджетных авиакомпаний // Сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития авиации». – Минск, 2019. – С. 292–294.
7. Горбунов, В. П. К вопросу выбора оптимальной ИТ инфраструктуры при запуске авиакомпании низкобюджетной бизнес модели // Сборник тезисов докладов XII Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 95-летию Гражданской авиации России. – Москва, 2018. – С. 268.
8. Горбунов, В. П. К вопросу поиска альтернативных методов продления назначенных целевых показателей по предельному ресурсу воздушных судов иностранного производства // Сборник тезисов докладов XIV Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, МГТУ ГА. – Москва, 2023. – С. 315–317.
9. Горбунов, В. П. Проблемы современных воздушных судов в условиях экстремально низких температур, обусловленные уязвимостью систем авионики / В. П. Горбунов, Е. Г. Спиридонов // Труды IV научно-технической конференции «Организация производства, экономика и менеджмент». Воронеж, 2023. – С. 71–78.

Соискатель

В. П. Горбунов