

На правах рукописи



ПОЛЕШКИНА ИРИНА ОЛЕГОВНА

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ДОСТУПНОСТИ
РЕГИОНОВ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Специальность 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы
страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московском государственном техническом университете гражданской авиации» (МГТУ ГА) на кафедре «Безопасность полетов и жизнедеятельности»

Научный консультант	доктор технических наук, профессор Воробьев Вадим Вадимович ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой «Безопасность полетов и жизнедеятельности».
Официальные оппоненты:	Лукинский Валерий Сергеевич , заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург), профессор, руководитель Департамента логистики и управления цепями поставок Миротин Леонид Борисович , доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», ведущий научный сотрудник Управления научно-исследовательских работ Вишнякова Лариса Владимировна , доктор технических наук, профессор, Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», Начальник подразделения
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова» (ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова)

Защита диссертации состоится «12» октября 2023 года в 10.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.114.02 на базе ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» и ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) по адресу: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64, ауд. 42.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) и на официальных сайтах: (<https://www.madi.ru/>), (<https://www.mstuca.ru/>).

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, направлять в диссертационный совет по адресу: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64, зал заседаний Ученого совета, ауд. 42.

Тел./Факс: 8 (499) 346-01-68 доб. 1324; E-mail: uchsovet@madi.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Мельникова
Татьяна Евгеньевна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы исследования. В современных геополитических условиях особенно актуальным для Российской Федерации является вопрос развития транспортной системы регионов Арктической зоны. Эти регионы представляют особый интерес для экономики России с точки зрения их освоения и развития. На этих территориях сосредоточено 90% запасов угля, 80% гидроэнергетических ресурсов, большие стратегические запасы нефти и газа, почти весь объём разведанных редких металлов и алмазов, половина железорудных залежей, 80% лесных ресурсов и более 60% запасов пресной воды. Поэтому первейшим и обязательным условием обеспечения жизнеспособности этих территорий является наличие надежной транспортной системы, позволяющей круглогодично осуществлять перемещение входящих и исходящих, а также внутренних материальных и людских потоков в суровых природно-климатических условиях. Транспортная система арктических регионов обеспечивает их целостность, безопасность и интеграцию в общее экономическое пространство страны, создавая привлекательные условия для трудовой миграции.

Регионы Восточной Арктики отличаются наименее низким уровнем транспортной доступности, отсутствием железнодорожных и круглогодично действующих автомобильных магистралей. В этих условиях воздушный транспорт является безальтернативным в обеспечении круглогодичного сообщения. Однако за период с 1991 г. аэропортовые и маршрутные сети сильно деградировали, что привело к транспортной дискриминации отдаленных населенных пунктов и снижению уровня авиационной подвижности населения.

Стратегические задачи гарантирования безопасности государственных границ, развития грузоперевозок по Северному морскому пути, сохранения численности местного населения и освоения полезных ископаемых рассматриваемых регионов требуют разработки методов и методик обеспечения авиационной доступности в условиях низкой плотности населения.

Эти задачи согласуются с Указом Президента Российской Федерации от 07 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.», в котором определено развитие магистральной инфраструктуры страны для обеспечения экономической связанности территорий, в том числе за счет развития подсистемы воздушного транспорта, за счет реконструкции региональных аэропортов и расширения сети межрегиональных регулярных пассажирских перевозок. Распоряжением правительства РФ от 30.09.2018 г. № 2101-р «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г.» установлен целевой показатель «авиационная подвижность населения», оцениваемый в количестве полетов в расчете на 1 человека в год к 2024 г. на уровне

0,95. Также этим распоряжением установлен дополнительный целевой показатель «повышение уровня транспортной обеспеченности субъектов РФ к уровню 2017 г. в процентах, который в 2024 г. должен составить 107,7%».

Распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р утверждена «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», в которой определяются направления развития магистральной транспортной инфраструктуры за счет «обеспечения устойчивого круглогодичного транспортного сообщения малонаселенных и островных территорий Арктической зоны, Дальнего Востока, изолированных от единой транспортной системы РФ, с административными центрами соответствующих субъектов РФ и другими субъектами РФ, в том числе за счет реконструкции и строительства аэродромов и аэропортов местного значения на малонаселенных геостратегических территориях РФ».

Степень разработанности темы исследования.

Наиболее существенный вклад в изучение вопросов регионального развития транспортной системы внесли следующие ученые: Багинова В.В., Васильев В.В., Гранберг А.Г., Кисиленко А.Н., Казаков А.Л., Лексин В.Н., Малыгин И.Г., Мамаев Э.А., Маслов А.М., Матушкин И.А., Минакир П.А., Миротин Л.Б., Осипов Г.В., Петров М.Б., Савушкина С.А., Садовничий В.А., Сундуков Е.Ю., Тархов С.А., Татаркин А.И., Цыганова В.В., Möller D.P.F. и др.

Общие вопросы управления транспортными системами на основе их цифровизации и моделирования транспортных процессов глубоко изучены в работах Аникина Б.А., Багиновой В.В., Богумила В.Н., Бочкарева А.А., Белова И.В., Власова В.М., Гасникова А.В., Геррами В.Д., Громова Н.Н., Гудкова В.А., Дыбской В.В., Жукова Е.А., Зырянова В.В., Колика А.В., Крыжановского Г.А., Левина Б.А., Лукинського В.С., Миротина Л.Б., Мамаева Э.А., Некрасова А.Г., Петрунина С.В., Рахмангулов А.Н., Резера С.М., Сергеева В.И., Улицкой М.П., Якунина В.И. и др.

Разработке методик оценки транспортной доступности регионов посвящены работы Беляева В.М., Большакова Н.М., Гольца Г.А., Дабиева Д.Ф., Делаховой А.М., Егоровой Т.П., Егошина С.Ф., Куклиной В.В., Лавриненко П.А., Неретина А.С., Тархова С.А. и др. Вместе с тем до сих пор не разработано единой методики оценки транспортной доступности арктических регионов с учетом сезонных ограничений.

Последние несколько лет возрос интерес к исследованию вопросов развития транспортной системы северных регионов. Исследования в этой области посвящены преимущественно методам оценки и развития транспортных систем с точки зрения доставки грузов, работы А.М. Делаховой, В.Н. Богумила, В.М. Власова, Т.П. Егоровой, И.Г. Малыгина, С.А. Савушкина, Н.А. Филипповой, В.В. Цыганова и др.

Исследованию развития системы воздушного транспорта на региональном и местном уровнях, проблемам моделирования и прогнозирования потоков

пассажирских и грузовых перевозок посвящены работы таких ученых, как Гасников А.В., Гольц Г.А., Громов А.Н., Евсеев О.В., Егошин С.Ф., Кисиленко А.Н., Косиченко Е.Ф., Ларин О.Н., Леонтьев Р.Г., Маслаков В.П., Нечаев П.А., Палагин Ю.И., Самойлов И.А., Страдомский О.Ю., Фридлянд А.А., Grosche, T.G. и др. Однако на сегодняшний день малоизученными остаются вопросы прогнозирования пассажиропотоков регионов Восточной Арктики, моделирования аэропортовых и маршрутных сетей, оптимизации использования парка воздушных судов. Отсутствует единая методика оценки уровня транспортной доступности и обеспеченности арктических регионов и районов, учитывающая сезонные ограничения использования различных видов транспорта. Еще менее изученными являются вопросы оценки и обеспечения авиационной доступности отдаленных северных населенных пунктов, круглогодичное транспортное сообщение с которыми поддерживается исключительно на основе нерегулярных воздушных рейсов.

Целью диссертационного исследования является решение научной проблемы обеспечения авиационной доступности малонаселенных арктических территорий, обладающих потенциалом развития экономики регионов Восточной Арктики Российской Федерации.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является транспортная система регионов Восточной Арктики России и факторы, сдерживающие обеспечение авиационной доступности этих территорий.

Предметом исследования выступают методы и методики обеспечения авиационной доступности малонаселенных арктических территорий посредством разработки единой системы управления воздушным транспортом.

Задачи исследования:

1. Проанализировать состояние транспортной системы Восточной Арктики, выявить закономерности ее развития и проблем обеспечения транспортной доступности районов, населенных пунктов и хозяйствующих субъектов.
2. Выполнить детальный статистический анализ действующей маршрутной сети и пассажиропотоков внутрирегиональных местных и межрайонных авиаперевозок.
3. Разработать и научно обосновать теоретические положения концепции обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики Российской Федерации в условиях отсутствия круглогодично действующих альтернативных видов сообщений.
4. Разработать комплексную методику оценки транспортной доступности арктического региона на районном и местном уровнях, учитывающую

различные схемы предоставления транспортных услуг населению, хозяйствующим субъектам и государственным службам.

5. Провести экспертный анализ факторов, влияющих на формирование местных и межрайонных авиационных пассажиропотоков, усовершенствовать и экспериментально подтвердить метод оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок.
6. Разработать метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки регионов Восточной Арктики с учетом местных и межрайонных пассажиропотоков.
7. Разработать и научно обосновать методику расчета пассажиропотоков на новых внутрирегиональных авиационных маршрутах, учитывающую возможности удовлетворения социально-экономических потребностей населения в соседних арктических районах.
8. Усовершенствовать методику оценки потребного парка воздушных судов для обслуживания местных авиаперевозок арктического региона, с учетом потребности увеличения частоты совершаемых рейсов и снижения затрат.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что:

1. Разработаны и научно обоснованы теоретические положения концепции обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики РФ, позволяющие спрогнозировать потребность развития элементов системы воздушного транспорта на основе оценки совокупного спроса и скрытых социально-экономических эффектов, получаемых от них.
2. Получена зависимость между внутрирегиональной авиационной подвижностью населения арктических районов, стоимостью перелета и временем его ожидания в связи с несогласованностью расписания стыковочных рейсов и их задержкой из-за погодных условий.
3. Разработана новая комплексная методика оценки транспортной доступности арктических районных центров и населенных пунктов, учитывающая степень влияния вероятности сезонных ограничений функционирования транспортных систем при организации пассажирских перевозок, грузовых перевозок и оказания услуг санитарной авиации и МЧС.
4. Получена зависимость между местной авиационной подвижностью населения внутри арктических районов и частотой отмены и задержки рейсов по причине их недозагрузки и из-за погодных условий.
5. Усовершенствован и экспериментально подтвержден метод оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок на основе многофакторного кластерного анализа арктических населенных пунктов иерархическим методом Варда.

6. Разработан метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки действующей маршрутной сети на основе многофакторного регрессионного анализа, позволяющая рассчитать спрос на межрайонные авиаперевозки арктического региона с учетом прогнозирования на первом уровне пассажиропотоков между районным центром и населенными пунктами, обслуживаемыми нерегулярными рейсами.
7. Разработана и научно обоснована методика прогнозирования пассажиропотоков по новым прямым авиационным маршрутам между центрами арктических районов региона на основе вероятностной модели количества совершаемых перелетов одним жителем в год, построенной с учетом результатов социологических исследований, анализа существующей инфраструктуры и исторически сложившимися социально-экономическими связями.
8. Усовершенствована методика оценки потребного парка воздушных судов для обеспечения местных авиаперевозок в арктических районах при условии минимизации затрат и заданной частоте полетов для обеспечения достаточного уровня авиационной подвижности населения на основе математического моделирования симплекс методом.

Теоретическая и практическая значимость. Диссертация восполняет существующие пробелы в исследованиях обеспечения авиационной доступности территорий арктических регионов в условиях отсутствия железнодорожного сообщения и круглогодично действующих автомобильных магистралей. Основной вклад диссертации заключается в исследовании вопросов обеспечения авиационной доступности арктических населенных пунктов с точки зрения организации пассажирских перевозок, доставки социально значимых скоропортящихся грузов и оказания услуг санитарной авиации и МЧС, конкретизации понятия «авиационная доступность населения», разработке структуры автоматизированной системы проактивного мониторинга и управления воздушным транспортом арктического региона.

Практическая значимость работы состоит в анализе существующей технологии организации транспортных процессов в регионах Восточной Арктики и выявлении факторов, препятствующих обеспечению достаточного уровня транспортной доступности. Комплексная методика оценки уровня транспортной доступности арктических районных центров и населенных пунктов позволяет региональными и федеральными органам управления обосновывать решения о реализации проектов развития инфраструктуры воздушного транспорта, о включении новых авиационных маршрутов в список субсидируемых социально значимых, о компенсации части затрат на доставку скоропортящихся и срочных

грузов, об увеличении мест базирования воздушных судов санитарной авиации. Методы прогнозирования объемов и сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок позволяют авиакомпаниям рассчитывать достаточную частоту совершаемых рейсов для обеспечения авиационной доступности удаленных населенных пунктов, обосновывать потребность развития сети посадочных площадок и вертодромов, составлять расписания полетов и рассчитывать потребность воздушных судов. Большую практическую значимость имеет разработанная впервые методика расчета пассажиропотоков по вновь открываемым прямым маршрутам между соседними арктическими районами региона, позволяющая повысить авиационную подвижность населения за счет создания возможности удовлетворения социальных потребностей не только в административном центре региона, но и в соседних районах.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являются фундаментальные научные труды российских и зарубежных ученых в области теории развития транспортных систем, математического моделирования транспортных процессов, теории управления и цифровизации данных. В процессе исследования были использованы методы системного анализа, экспертной оценки, факторный анализ, теория математической статистики, многокритериальное кластерное моделирование, регрессионный анализ, методы математической оптимизации линейного целочисленного программирования, геоинформационные методы.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики Российской Федерации.
2. Комплексная методика оценки транспортной доступности районных центров и населенных пунктов Восточной Арктики.
3. Метод оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок арктического региона.
4. Метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки действующей маршрутной сети регионов Восточной Арктики.
5. Методика расчета пассажиропотока по вновь открываемым прямым авиационным маршрутам между центрами районов арктических регионов.
6. Методика оценки потребного парка воздушных судов для обеспечения местных авиаперевозок арктического региона.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов, полученных в диссертационном исследовании, подтверждается удовлетворительным уровнем сходимости прогнозных значений с реальными показателями авиаперевозок в регионах Восточной

Арктики и пассажиропотоками прямых регулярных авиационных рейсов между аэропортами Аляски. Адекватность математических моделей проверена при помощи классических методов математической статистики. Комплексная методика оценки транспортной доступности арктических населенных пунктов с точки зрения оказания услуг санитарной авиации была апробирована Республиканским центром медицины катастроф Министерства здравоохранения Республики Саха (Якутия) для обоснования потребности создания дополнительных мест базирования воздушных судов санитарной авиации на территории арктических районов республики. Методика расчета пассажиропотока по вновь открываемым авиационным маршрутам была внедрена АК «Полярные Авиалинии» при проектировании маршрутной сети местных и межрайонных авиаперевозок. Методика оценки потребного парка воздушных судов для обеспечения местных авиаперевозок была использована Департаментом воздушного транспорта, кадрового и правового обеспечения для расчета потребности районов Арктической зоны Республики Саха (Якутия) в самолетах ЛМС-901 «Байкал». Основные положения диссертационного исследования многократно докладывались автором и обсуждались на региональных, всероссийских и международных научно-практических конференциях и семинарах: в МГТУ ГА на конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (2016, 2018, 2021 гг.), на X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (2021 г.), в РУТ на Международной научно-практической конференции «Современные механизмы нормативно-правового регулирования в сложных социально-экономических системах» (2021 г.), в МАДИ на Международном арктическом саммите «Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов» (2022 г.), в СПбГАСУ на Международной научно-практической конференции «Транспортная доступность Арктики: сети и системы» (2021 г.), в Институте проблем транспорта им. С.Н. Соломенко РАН на Международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы» (2021 г.), в Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева, в СВФУ им. М.К. Аммосова «Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера» (2022 г.), на Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее», на Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2021), на Международной научно-практической конференции «Логистика – Евразийский мост» (2020, 2021 гг.), на XVIII научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» (2021 г.), на Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития» (2020 г.)

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе определен состав регионов Восточной Арктики России и их значимость в социально-экономическом развитии страны. Выделены особенности развития транспортных систем этих регионов, отличающие их от арктических регионов Европейской части России и требующие разработки научно обоснованной методологии обеспечения транспортной доступности их территорий. Общая площадь Восточной Арктики России составляет 3,4 млн. кв. км (20% территории страны), включает территории городского округа Норильск, Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района, Туруханского района, частично сельские поселения Эвенковского района Красноярского края; территории Абыйского, Аллаиховского, Анабарского национального (Долгано-Эвенкийского), Булунского, Верхнеколымского, Верхоянского, Жиганского национального эвенкийского, Момского, Нижнеколымского, Оленекского эвенкийского национального, Среднеколымского, Усть-Янского и Эвено-Бытантайского национальных районов Республики Саха (Якутия); всю территорию Чукотского автономного округа. На этих территориях открыты крупные месторождения углеводородного сырья, угля, железных руд, золота, серебра, олова, уникальные месторождения алмазов и редкоземельного металла ниобия, на них сосредоточен большой запас биоресурсов. Плотность населения этих территорий составляет в среднем 0,1 чел./кв.км. Арктическая зона Республики Саха (Якутия) является территорией с самой низкой плотностью населения в России, которая составляет 0,04 чел./кв.км. Освоение полезных ископаемых требует достаточного уровня развития транспортных систем.

В транспортном отношении Якутия является одним из самых изолированных и труднодоступных регионов мира, так как 90% ее территории не имеет круглогодичного транспортного сообщения. Факторами, сдерживающими транспортное освоение, являются: климатические условия, особенности рельефа, распространение мерзлотных явлений, дисперсная система расселения, недостаточный экономический потенциал территорий. В этих условиях приоритет получают транспортные проекты, направленные на развитие экономически и социально оправданных связей, имеющих преимущественно межрегиональное и страновое значение в ущерб внутренним и локальным связям. Транспортное обеспечение местных перевозок между отдаленными населенными пунктами и центрами арктических районов остается на очень низком уровне. В процессе исследования были выявлены три группы рисков эксплуатации транспортных систем в этих регионах: природно-

климатические (смещения времени открытия и закрытия навигации, открытия и закрытия автозимников, остановки полетов из-за погодных условий), технические (высокая степень износа подвижного состава, парка воздушных судов и обслуживающей инфраструктуры) и финансовые риски (заморозка денежных средств в связи с потребностью создания сезонных запасов грузов, топлива и сложностью получения субсидирования транспортных расходов на пассажирские перевозки по субсидируемым маршрутам).

В работе сформулировано основное противоречие в развитии транспортной системы Восточной Арктики: большая площадь территории, прохождение северных границ государства и наличие богатых полезных ископаемых ставят задачу развития как внутренней транспортной доступности этих регионов, так и внешней для их вовлечения в экономическую жизнь страны и обеспечения национальной безопасности. Дисперсное расселение и низкая плотность населения, суровые природно-климатические и сложные геологические условия делают экономически невыгодным строительство и содержание железнодорожной и круглогодично действующей автомобильной сетей. Разрешение данного противоречия заключается в разработке методов и методик обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики.

Под транспортной доступностью в данной работе понимается возможность населения и хозяйствующих субъектов в определенный промежуток времени получить доступ к транспортной услуге по перемещению из определенного пункта отправления в требуемый пункт назначения с использованием транспортных сетей всех видов. Транспортная доступность определяется, с одной стороны, наличием и возможностью использования транспортных сетей в любой момент времени, с другой стороны, приемлемым уровнем стоимости и времени получения услуги перевозки для пользователя. Исследования показали, что на современном этапе отсутствует единая комплексная научно обоснованная методика оценки уровня транспортной доступности арктических регионов на районном и местном уровнях, имеющих жесткие сезонные ограничения и риски смещения периода эксплуатации транспортных сетей.

Выявлено, что существующие комплексные методики оценки транспортной доступности с учетом ценовых, пространственных и временных параметров не позволяют отразить сезонные ограничения эксплуатации автомобильных дорог, водных путей сообщения, нерегулярность местного авиасообщения. В условиях Восточной Арктики целесообразно оценивать одновременно все эти параметры. Издержки на совершение перевозки складываются не только из стоимости самой перевозки, но и из стоимости ожидания перевозки в связи с ограничениями эксплуатации транспортных сетей. В качестве результирующего показателя уровня транспортной доступности арктических территорий помимо самого

коэффициента транспортной доступности предлагается рассматривать уровень авиационной подвижности населения и долю транспортных затрат в стоимости, поставляемой на территорию региона продукции.

Исследование показало, что 98 % пассажирских перевозок в Восточной Арктике осуществляются воздушным транспортом (ВТ), а грузовые на 99 % – по многоступенчатым мультимодальным схемам доставки с использованием автомобильного и водного транспорта. Проблема обеспечения авиационной доступности регионов заключается в высокой стоимости перевозок, ограниченности маршрутной и аэропортовой сети, отсутствии в некоторых населенных пунктах вертодромов и посадочных площадок, сокращении численности населения, отсутствии экономичных типов легких воздушных судов малой вместимости (9-12 и 3-4 места), низкой частоте местных авиарейсов. В результате, местная авиационная подвижность населения Восточной Арктики России составляет 0,4 поездки на одного жителя в год, что на 60% ниже минимального целевого показателя.

Для сравнения, в Королевстве Норвегия в труднодоступных населенных пунктах этот показатель составляет 4,2 поездки в год, в Австралии - 3,3 поездки в год. В Республике Саха (Якутия) по сравнению с 1989 г. на региональных маршрутах в настоящее время этот показатель сократился в 5 раз.

Из-за чрезмерных требований к коммерческим эксплуатантам легких воздушных судов малой вместимости в России их количество постоянно сокращается. Местные авиаперевозки на 99% обслуживаются крайне дорогими в эксплуатации в арктических условиях вертолетами МИ-8 вместимостью 22-24 места, что приводит к их недозагрузке и сокращению количества рейсов.

Во второй главе рассмотрены элементы региональной транспортной системы, вопросы методологии проектирования региональных транспортных систем и оценки транспортной доступности, математические методы прогнозирования спроса на пассажирские и грузовые авиаперевозки.

В качестве основных направлений развития транспортных систем арктических регионов определены: развитие воздушного транспорта для пассажирских перевозок, развитие наземных видов транспорта для грузовых перевозок и повышение общей связанности транспортной системы региона с транспортной системой страны. Для каждого направления определена своя целевая функция, отличающаяся от регионов с наличием альтернативных видов транспортного сообщения. Выявлены существующие пробелы научных исследований в отношении обеспечения транспортной доступности пассажирских перевозок, доставки социально-значимых скоропортящихся и срочных грузов, оказания услуг санитарной авиации и МЧС на уровне малочисленных населенных пунктов арктических регионов. Для устранения

данных пробелов разработана концепция обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики России. В процессе разработки данной концепции уточнено понятие «авиационная доступность региона», под которым понимается возможность за заданный промежуток времени совершить перелет из определенного пункта отправления в требуемый пункт назначения всеми заинтересованными субъектами с учетом стоимости перелета и уровня их платежеспособности. Применительно к арктическим регионам в качестве пунктов отправления рассматриваются все административные центры районов и/или населенные пункты, в качестве пунктов назначений – все административные центры арктических районов и столица региона.

Концепция авиационной доступности региона заключается в структуризации функций и видов услуг воздушного транспорта, предоставляемых различным субъектам региона, и формировании единого системного подхода к их реализации на основе оценки совокупного спроса. Доказывается, что применительно к регионам Восточной Арктики целесообразность строительства аэродрома или посадочной площадки невозможно обосновать только объемом спроса на пассажирские авиаперевозки из-за низкой плотности населения. Поэтому требуется оценка совокупного спроса на авиаперевозки со стороны всех заинтересованных субъектов и скрытых социально-экономических эффектов от развития ВТ. В рамках данной концепции выделено восемь функций системы воздушного транспорта, четыре из которых являются основными и четыре развивающимися, рисунок 1.

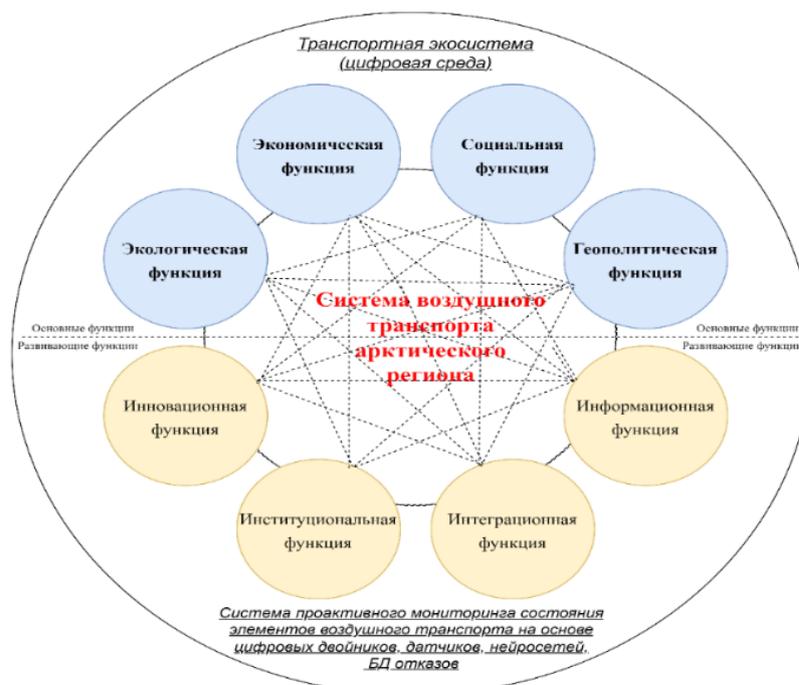


Рисунок 1 – Основные и развивающиеся функции системы воздушного транспорта регионов Восточной Арктики России

Каждая из этих функций выступает взаимодополняющей и влияет на остальные. Степень влияния функций друг на друга на рисунке определяется площадью соответствующих треугольников. Реализации концепции обеспечения авиационной доступности арктических регионов на первом этапе предполагает оценку существующего совокупного спроса на услуги воздушного транспорта и выявление факторов, ограничивающих возможность удовлетворения этого спроса. На втором этапе разрабатываются математические методы обоснования потребности развития элементов системы воздушного транспорта и прогнозируется совокупный спроса при устранении существующих ограничений. На третьем этапе разрабатываются проекты развития системы ВТ.

Для оценки совокупного спроса применительно к регионам Восточной Арктики в рамках каждой функции определены виды услуг, которые безальтернативно выполняются воздушным транспортом, и факторы, ограничивающие возможность предоставления этих услуг, таблица 1.

Таблица 1 - Основные функции и виды услуг, безальтернативно выполняемые воздушным транспортом в регионах Восточной Арктики.

Основные функции ТС	Виды услуг, безальтернативно выполняемые воздушным транспортом	Факторы, ограничивающие возможность предоставления услуг воздушного транспорта
Экологическая	Транспортное обеспечение арктических научных экспедиций и исследований; Мониторинг популяций животных и видов растений на транспортно-изолированных территориях; Мониторинг ледовой обстановки рек и СМП; Мониторинг лесных пожаров.	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточность сети посадочных полос и вертодромов; • Недостаточность типоразмеров парка воздушных судов (преимущественное использование вертолетной техники); • Недостаточное количество мест базирования воздушных судов на территории Арктической зоны региона; • Стоимость предоставления услуги.
Экономическая	Пассажирские перевозки трудовых мигрантов; Доставка коммерческих грузов в периоды межсезонья; Срочная доставка коммерческих грузов; Сопровождение ледовой проводки судов СМП.	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточность сети посадочных полос и вертодромов; • Недостаточность типоразмеров парка воздушных судов; • Недостаточное количество мест базирования воздушных судов на территории Арктической зоны региона; • Стоимость предоставления услуги.
Социальная	Доставка социально значимых скоропортящихся и срочных грузов (продукты, медикаменты); Пассажирские внутрирегиональные перевозки (туристические, бытовые, образовательные); Предоставление услуг санитарной авиации и МЧС.	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточность сети посадочных полос и вертодромов; • Недостаточность типоразмеров парка воздушных судов; • Недостаточное количество мест базирования воздушных судов на территории Арктической зоны региона; • Ограниченность действующей маршрутной сети и частоты выполняемых рейсов, низкая загрузка рейсов; • Стоимость предоставления услуги.
Геополитическая	Картирование и кадастровый учет территорий; Охрана государственных границ.	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточность сети посадочных полос и вертодромов особенно с возможностью посадки в темное время.

На следующем этапе рассмотрены направления реализации развивающихся функций системы ВТ и их потенциальное влияние на повышение уровня авиационной доступности, таблица 2.

Определение факторов, сдерживающих возможность удовлетворения спроса на услуги ВТ, позволило в рамках концепции обеспечения авиационной доступности арктических регионов разработать комплекс взаимосвязанных математических методов и методик обоснования потребности развития элементов системы воздушного транспорта, представленных на рисунке 2.

Таблица 2 - Направления реализации развивающих функций системы воздушного транспорта в регионах Восточной Арктики.

Развивающие функции	Направления реализации функции в условиях Арктической зоны	Предпосылки для повышения уровня транспортной доступности
Инновационная	Разработка новых многоцелевых легкомоторных типов экономичных воздушных судов разной вместимостью (3-8; 9-12; 13-19 мест); Разработка устойчивых к перепадам температур покрытий для вертодромов и посадочных полос; Разработка цифровых двойников аэродромов	<ul style="list-style-type: none"> Снижение стоимости перелета; Повышение частоты выполняемых рейсов; Расширение сети вертодромов и посадочных полос; Снижение риска отмены рейсов из-за размывтия грунтовых посадочных полос; Возможность удаленного мониторинга аэродрома.
Институциональная	Разработка специализированных нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность коммерческой авиации в условиях малой интенсивности полетов (требования к авиакомпаниям, аэродромам, вертодромам и посадочным площадкам)	<ul style="list-style-type: none"> Снижение стоимости содержания и обслуживания аэродромов, вертодромов и посадочных площадок позволит увеличить их количество в Арктической зоне; Упрощение требований к авиакомпаниям создаст предпосылки для формирования конкурентной среды.
Интеграционная	Обеспечение стыковки внутрирайонных, межрайонных и магистральных пассажирских воздушных рейсов за счет развития оптимизации расписаний	<ul style="list-style-type: none"> Сокращение времени и стоимости ожидания стыковочных рейсов; Снижение риска опоздания на стыковочный рейс.
Информационная	Создание автоматизированной системы проактивного мониторинга элементов воздушного транспорта для эффективного управления имп	<ul style="list-style-type: none"> Возможность мониторинга загрузки воздушных судов, пассажиро- и грузопотоков; Повышения степени предсказуемости рисков отказов.

Применение этих методов позволяет: прогнозировать объем спроса на пассажирские внутрирегиональные авиаперевозки как по существующим, так и по новым маршрутам; разрабатывать план развития аэропортовой сети, сети посадочных площадок и вертодромов; обосновывать изменение конфигурации маршрутной сети; определять необходимую частоту выполняемых полетов; рассчитывать потребность парка воздушных судов по количеству и типоразмерам, задавая требования к их производству.



Рисунок 2 – Структурная взаимосвязь методов и методик обеспечения авиационной доступности арктического региона

В третьей главе разработана комплексная методика оценки транспортной доступности регионов Восточной Арктики на районном и местном уровнях, учитывающая возможности предоставления услуг пассажирских авиаперевозок, доставки социально значимых скоропортящихся и срочных грузов, услуг санитарной авиации и МЧС. Потребность выделения трех составляющих в комплексной методике оценки транспортной доступности обусловлена спецификой организации каждого вида перевозки. Необходимость разработки данной методики обусловлена потребностью учета сезонных ограничений использования разных видов транспорта. Данная методика позволит федеральными и региональными органами государственного управления обосновывать распределение субсидий на возмещение транспортных затрат и принимать решения о реализации проектов развития транспортной сети.

На примере арктических районов Республики Саха (Якутия) (РС(Я)) выявлена зависимость между местной авиационной подвижностью населения и суммарным уровнем вероятности задержки и отмены рейсов, рисунок 3. Величина окружности определяется численностью населения, проживающего в отдаленных населенных пунктах арктического района. Установлено, что суммарная продолжительность эксплуатации автозимников и водных путей сообщения в этих районах в течение года составляет от 245 до 116 суток с максимальным отклонением в 60 суток. Среднее время доставки пациентов санитарной авиацией до медицинских учреждений второго и третьего уровней без учета задержки рейсов составляет от 10 до 30 часов в зависимости от района.

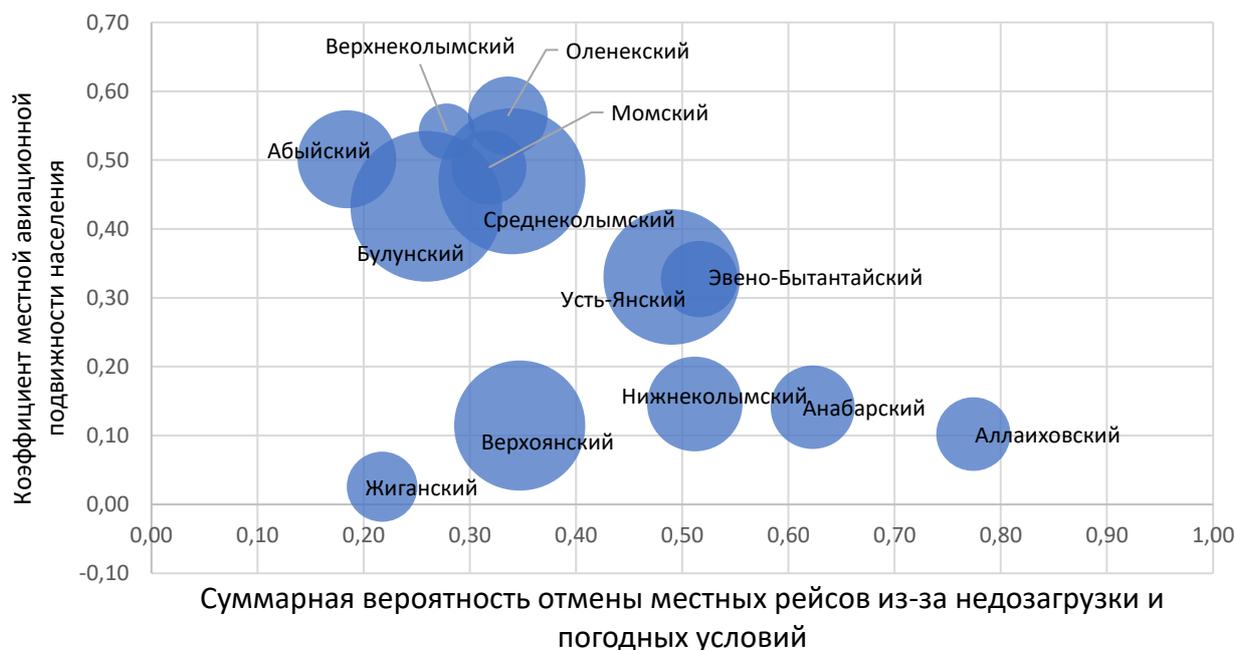


Рисунок 3 - Зависимость местной авиационной подвижности населения от уровня вероятности задержки и отмены рейсов в арктических районах РС(Я)

Общий коэффициент транспортной доступности арктического района или населенного пункта i предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{zi} = n_a k_{a_i} + n_b k_{b_i} + n_e k_{e_i} \quad (1),$$

где, n_a, n_b, n_e – коэффициенты значимости каждого составляющего показателя транспортной доступности района (населенного пункта) i ; $k_{a_i}, k_{b_i}, k_{e_i}$ – нормированные коэффициенты транспортной доступности района (населенного пункта) i с точки зрения возможности предоставления услуг авиационных пассажирских перевозок, доставки социально значимых грузов, предоставления услуг санитарной авиации и МЧС соответственно.

Доступность пассажирских перевозок между районными центрами (населенными пунктами) зависит от времени совершения перелета и его стоимости. В условиях отсутствия прямых маршрутов время перелета между районными центрами зависит от расписания полетов и времени ожидания стыковочных рейсов, стоимость перелета зависит от действующих тарифов и стоимости проживания в месте ожидания стыковочных рейсов. С учетом этих условий нормированный коэффициент авиационной доступности пассажирских перевозок рассчитывается по формуле:

$$k_{aij} = n_p k_{p_i} + n_t k_{t_i^w} \quad (2),$$

где, n_p – вес степени влияния стоимости перелета, n_t – вес степени влияния времени ожидания перелета, $k_{p_i}, k_{t_i^w}$ – нормированные коэффициенты средней стоимости и времени ожидания перелета из i -го района (населенного пункта) во все остальные арктические районы региона.

Нормированные коэффициенты средней стоимости перелета из i -го района (населенного пункта) во все остальные арктические районы региона предлагается рассчитывать по формуле:

$$k_{p_i} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^J p_{jo}}{J}}{\frac{\sum_{j=1}^J p_{ij}}{J}} = \frac{\sum_{j=1}^J p_{jo}}{\sum_{j=1}^J p_{ij}}, \quad J \in R \quad (3),$$

где, p_{jo} – средняя стоимость перелета из арктического района (населенного пункта) до центрального стыковочного аэропорта региона, p_{ij} – средняя стоимость перелета из всех арктических районов (населенных пунктов) во все арктические районы региона через центральный стыковочный аэропорт региона.

Нормированные коэффициенты среднего времени ожидания перелета из i -го района (населенного пункта) во все остальные арктические районы региона рассчитываются по формуле:

$$k_{t_i^w} = \frac{t_{min}^w}{t_{cpij}^w} \quad (4),$$

где, t_{min}^w – минимальное время ожидания перелета между арктическими районами (населенными пунктами), t_{cpij}^w – среднее время ожидания перелета из i -го района (населенного пункта) во все остальные арктические районы региона.

Общее время ожидания перевозки t_{ij}^w между i районом и всеми остальными арктическими районами j рассматриваемого региона рассчитывается по формуле:

$$\sum_{j=1}^J t_{ij}^w = \sum_{j=1}^J t_{ij}^{w1} r_{ij}^1 + \sum_{j=1}^J t_{ij}^{w2} r_{ij}^2 \quad (5),$$

где, t_{ij}^{w1} – время ожидания стыковочных рейсов при перелете из района i во все остальные районы j через центральный аэропорт региона; t_{ij}^{w2} – время задержки рейса в стыковочном аэропорту при перелете из i -го района во все остальные арктические районы j из-за погодных условий; r_{ij}^1 – вероятность задержки рейса в связи с нестыковкой расписания в центральном аэропорту; r_{ij}^2 – вероятность задержки рейса в связи с погодными условиями в стыковочном аэропорту при перелете из арктического района i во все остальные арктические район j .

Среднее время ожидания перевозки при перелете из i района в j район рассчитывается по формуле:

$$t_{cpij}^w = \int_0^{\delta} t_{ij}^{w1} r_{ij}(t_{ij}^{w1}) dt_{ij}^{w1} + \int_0^{\varepsilon} t_{ij}^{w2} r_{ij}(t_{ij}^{w2}) dt_{ij}^{w1} \quad (6);$$

где, $r_{ij}(t_{ij}^{w1})$ – плотность вероятности времени ожидания стыковочного рейса (без учета погодных аномалий) составит время t_{ij}^{w1} , $r_{ij}(t_{ij}^{w2})$ – плотность вероятности времени из-за погодных условий рейс в аэропорту стыковки отложится на время t_{ij}^{w2} , δ и ε – максимальное время ожидания стыковочного рейса из-за нестыковки расписания и погодных условий.

Уровень транспортной доступности арктических районов с точки зрения доставки социально значимых грузов зависит от трех составляющих: продолжительности сезонной эксплуатации автомобильного и водного транспорта, протяженности маршрута доставки, количества перевалок грузов и времени его хранения в пути. Формула расчета транспортной доступности арктического района i будет иметь вид:

$$k_{bi} = n_f k_{f_{li}} + n_l k_{l_{li}} + n_w k_{w_{li}} \quad (7),$$

где, $k_{f_{li}}$ – нормированный коэффициент продолжительности сезонной эксплуатации автомобильных и водных путей сообщений; $k_{l_{li}}$ – нормированный коэффициент среднего расстояния перевозки от логистического центра до арктического района автомобильным и водным транспортом; $k_{w_{li}}$ – нормированный коэффициент среднего времени ожидания доставки в местах перевалки и депонирования грузов на маршруте, а n_f, n_l, n_w – коэффициенты значимости этих показателей.

Слагаемые, приведенные в формуле 7, рассчитываются как:

$$k_{f_{li}} = \frac{f_{cpli}^k}{365} \quad (8),$$

$$k_{l_{li}} = \frac{l_{cpli}^k}{l_{minli}^k} \quad (9),$$

$$k_{w_{li}} = \frac{w_{cpli}^k}{w_{minli}^k} \quad (10).$$

Так как ограничения сезонной эксплуатации автомобильного и водного транспорта в Арктике подвержены колебаниям в связи с погодными условиями, то среднее время сезонной транспортной доступности района для доставки груза без учета воздушного транспорта можно выразить формулой:

$$f_{cpli}^k = f_{ij}^{k_1} + \int_0^{\alpha} s_{li}^{k_1} r_{li}(s_{li}^{k_1}) ds_{li}^{k_1} + f_{li}^{k_2} + \int_0^{\beta} s_{li}^{k_2} r_{li}(s_{li}^{k_2}) ds_{li}^{k_2} \quad (11);$$

где, $s_{li}^{k_1}$ – изменение продолжительности эксплуатации маршрута с преобладанием водного транспорта; $r_{li}(s_{li}^{k_1})$ – плотность вероятности этого изменения; $s_{li}^{k_2}$ – изменение продолжительности эксплуатации маршрута с преобладанием автомобильного транспорта; $r_{li}(s_{li}^{k_2})$ – плотность вероятности этого изменения, α и β – максимальное время смещения сроков эксплуатации маршрута.

Общее расстояние перевозки груза из центрального транспортно-логистического центра l , расположенного на территории региона, до склада центра арктического района (населенного пункта) i по определенной схеме доставки k будет рассчитываться по формуле:

$$L_{li}^k = \sum_{m=1} l_m^a + \sum_{n=1} l_n^b + \sum_{o=1} l_o^c \quad (12),$$

где, l_m^a, l_n^b, l_o^c – расстояние перевозки груза видами транспорта a, b, c на участках m, n, o маршрута k соответственно.

Общее время ожидания доставки, вызванное сезонными ограничениями эксплуатации участков маршрута k , обслуживающих различные виды транспорта, можно выразить формулой:

$$W_{li}^k = \sum_{s=1}^S w_s, \quad S \in R \quad (13),$$

где, w_s – время ожидания отправки груза в стыковочном транспортно-логистическом пункте s на маршруте k .

Для расчета нормированного коэффициента транспортной доступности арктических районов с точки зрения предоставления услуг санитарной авиации и МЧС предлагается использование следующей формулы:

$$k_{e_i} = \frac{e_{norm_{id}}}{e_{max_{id}}} \quad (14),$$

где, $e_{norm_{id}}$ – нормативное время доставки пациента из i арктического района (населенного пункта) до специализированных медицинских организаций (сосудистых, перинатальных и травматологических центров) второго и третьего уровней с учетом действующей маршрутизации; $e_{max_{id}}$ – максимально допустимое время доставки пациента до медицинской организации.

За пределами центров арктических районов услуги санитарной авиации оказываются воздушным транспортом. Формула транспортной доступности населенных пунктов с точки зрения предоставления этой услуги учитывает ситуацию, когда пациента необходимо доставить в медицинские организации, расположенные в центре региона:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= e_g^f + e_{gi}^g + e_i^h + e_{ij}^g + e_g^q r_g + e_i^q r_i = \\ &= e_g^f + e_{gi}^g + e_i^h + e_{ij}^g + \int_0^\varepsilon e_g^q r_g (e_g^q) de_g^q + \int_0^\varepsilon e_i^q r_i (e_i^q) de_i^q \quad (15), \end{aligned}$$

где, e_g^f – время подготовки к вылету вертолета санитарной авиации в аэропорту базирования g , e_{gi}^g – время перелета из аэропорта базирования g до арктического населенного пункта i , e_i^h – время погрузки больного в вертолет в населенном пункте i , e_{ij}^g – время перелета из населенного пункта i до районной больницы в населенном пункте j , e_g^q – время задержки рейса в связи с природно-климатическими условиями в аэропорту базирования ВС g , r_g – вероятность задержки рейса в аэропорту базирования g , e_i^q – время задержки рейса в связи с природно-климатическими условиями в населенном пункте i , r_i – вероятность задержки рейса в населенном пункте отправления i .

Расчет комплексного показателя транспортной доступности арктических районов Республики Саха (Якутия) представлен на рисунке 4.

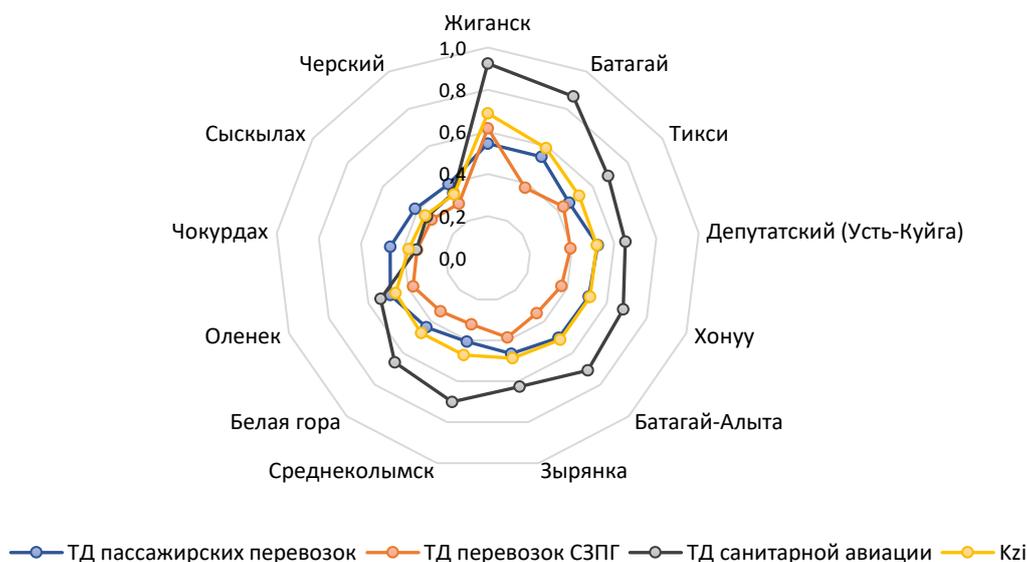


Рисунок 4 - Составляющие комплексного показателя транспортной доступности арктических районов Республики Саха (Якутия)

Применение комплексной методики оценки транспортной доступности арктических районов Республики Саха (Якутия) показало, что данный показатель колеблется в пределах региона от 0,69 до 0,34. Наиболее доступными во всех районах оказываются услуги санитарной авиации и МЧС, наименее доступными – доставка социально значимых продовольственных скоропортящихся и срочных грузов. Выявлено, что уровень доступности пассажирских перевозок в 12 раз ниже среднего по России по времени и в 35 раз ниже по стоимости, уровень доступности перевозок социально значимых скоропортящихся грузов сильно варьирует в течение года, уровень доступности услуг санитарной авиации и МЧС в наиболее отдаленных населенных пунктах ниже предельно допустимого в 1,7 раза.

В четвертой главе усовершенствован и экспериментально подтвержден метод оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок арктического региона на основе применения иерархической кластеризации. Данный метод позволяет с помощью учета большого количества критериев и измерения нормированного расстояния между ними разделить все населенные пункты на кластеры и для каждого кластера в отдельности разработать свою стратегию обеспечения авиационной доступности. Применение данного метода позволяет с учетом размера населенных пунктов и количества месяцев в году, в течение которых предъявляется спрос на авиаперевозки, обосновывать

потребность строительства аэродромов, посадочных полос и вертодромов для обслуживания населенных пунктов каждого кластера. Математическое описание данного метода представлено на рисунке 5.

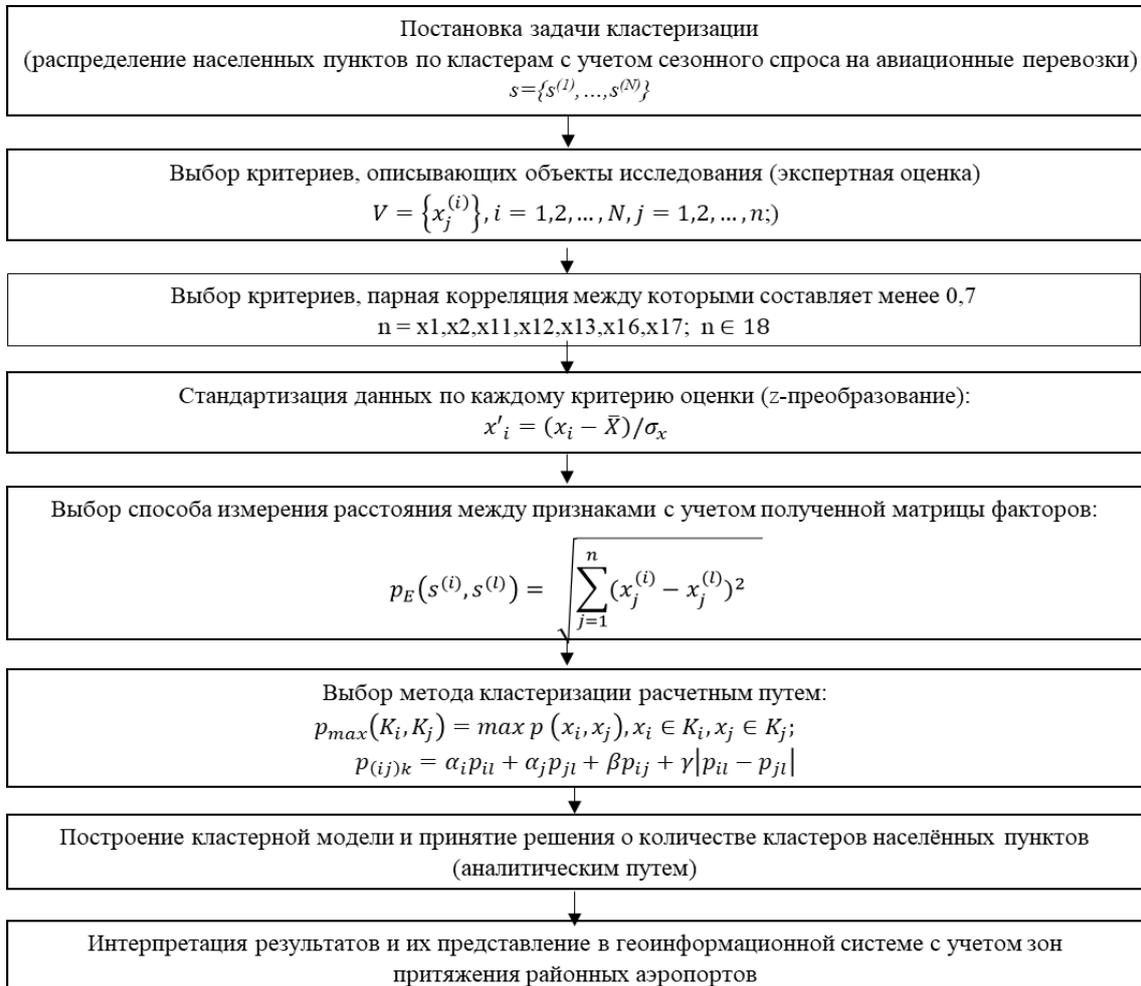


Рисунок 5 – Математическое описание метода оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок арктического региона

В процессе исследования выявлено, что авиаперевозки на территории регионов Восточной Арктики совершаются в два этапа: на местном уровне от населенного пункта до центрального районного аэропорта нерегулярными рейсами и на внутрирегиональном межрайонном уровне от центра арктического района до центра региона. Спрос на местные авиаперевозки влияет на формирование спроса на межрайонные перевозки и определяет заполняемость регулярно выполняемых рейсов. Авиационная подвижность населения отдаленных населенных пунктов остается на очень низком уровне (от 0,3 до 0,6) и зависит от большого количества критериев. Прогнозирование спроса местных авиаперевозок требует подробного изучения этих критериев по всем арктическим населенным пунктам региона, которых на территории Восточной Арктики более 200.

Для решения поставленной задачи с помощью экспертной оценки было выделено 18 критериев, влияющих на размер и сезонное распределения пассажиропотоков местных и межрайонных авиаперевозок, таблица 3.

Таблица 3 – Критерии, определяющие сезонное распределение пассажиропотоков воздушного транспорта арктического региона.

№	Критерии		Уровень
1	Численность населения в населенном пункте / районном центре, чел.	X1	Мест. / Район.
2	Расстояние перелета от населенного пункта до районного аэропорта, км	X2	Мест.
3	Расстояние от населенного пункта до районного аэропорта по автозимнику, км	X3	Мест.
4	Размер субсидируемого тарифа на перелет между населенным пунктом и районным аэропортом, руб.	X4	Мест.
5	Расстояние перелета от районного аэропорта до центра региона, км	X5	Район.
6	Средний размер стоимости перелета экономическим классом из районного аэропорта до центра региона, руб.	X6	Район.
7	Средний ежемесячный ФОТ одного работника в районе, руб.	X7	Район.
8	Доля стоимости перелета из районного аэропорта до центра региона в среднемесечном ФОТ одного работника в районе	X8	Район.
9	Наличие в населенном пункте /районном центре добычи полезных ископаемых	X9	Мест. / Район.
10	Общее расстояние перелета от арктического населенного пункта до центра региона, км	X10	Район.
11	Местная авиационная подвижность населения, перелетов в год на 1 жителя отдаленных населенных пунктов района	X11	Мест.
12	Численность населения в расчете на количество совершаемых авиационных рейсов между населенным пунктом в районный аэропорт в год, чел./рейс	X12	Мест.
13	Наличие альтернативных видов сообщения между населенным пунктом и районным аэропортом	X13	Мест.
14	Наличие круглогодичного автомобильного сообщения между районным аэропортом и центром региона	X14	Район.
15	Наличие железнодорожного сообщения между районным аэропортом и центром региона	X15	Район.
16	Наличие посадочной полосы и/или вертодрома в населенном пункте	X16	Мест.
17	Комплексный коэффициент транспортной доступности	X17	Мест.
18	Отнесение территории района к районам Крайнего Севера	X18	Район.

В качестве квалифицированных специалистов-экспертов выступили 30 человек, среди которых сотрудники региональных департаментов ВТ, главы арктических районов, представители авиакомпаний и аэропортов. Каждый эксперт должен был сформировать ранжированный перечень критериев, влияющих на пассажиропотоки местных и межрайонных авиаперевозок. В результате оценок экспертов была получена матрица $\|r_{ju}\|$ ($u = \overline{1, d}$; $j = \overline{1, n}$), где r_{ju} – ранг критерия j , присваиваемый экспертом u . Сумма рангов каждого критерия по строке будет иметь вид:

$$r_j = \sum_{u=1}^d r_{ju}; \quad (j = \overline{1, n}) \quad (16).$$

Тогда дисперсия оценок экспертов D , определяется по формуле:

$$D_r = \frac{1}{d-1} \sum_{u=1}^d (r_{ju} - r_{cp})^2 \quad (17);$$

$$r_{cp} = \frac{1}{d} \sum_{u=1}^d r_{ju} \quad (18).$$

Для решения задачи кластеризации населенных пунктов из общего количества критериев были отобраны 9, которые напрямую влияют на формирование пассажиропотоков местных авиаперевозок. Построена матрица парной корреляции и выбрано 7 критериев с корреляцией менее 0,6.

Кластеризация населенных пунктов по выбранным критериям осуществлялась тремя методами: методом Дальнего соседа, методом Варда и методом К-средних. Выделение кластеров осуществлялось на примере 65 населенных пунктов Республики Саха (Якутия) в программе Statistica. Наиболее значимые результаты были получены с помощью метода Варда при выделении 5 кластеров на нормированном расстоянии между кластерами 8,7, рисунок 6.

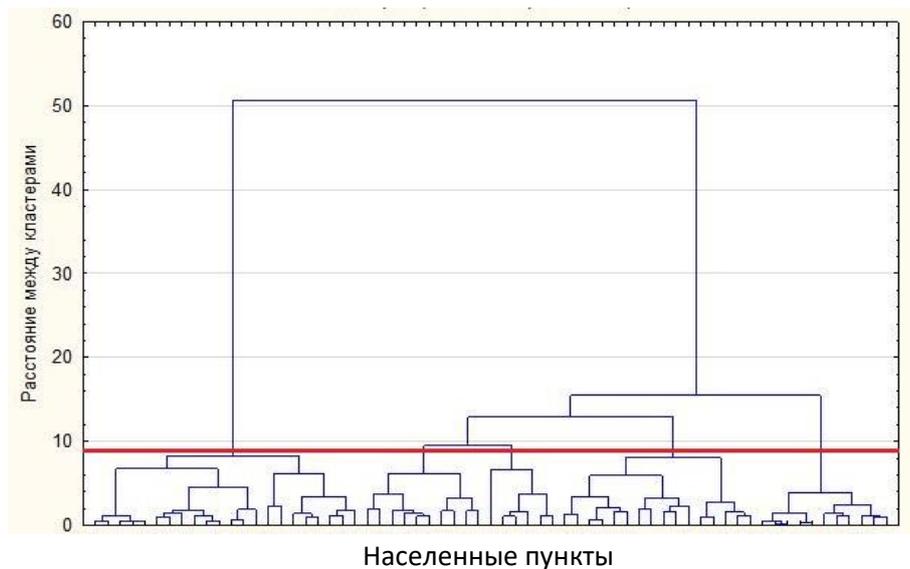


Рисунок 6 – Выделение кластеров населенных пунктов РС(Я) методом Варда

Целевой функцией при использовании метода Варда является минимизация приращения внутригрупповой суммы квадратов отклонений расстояний между каждой точкой (населенным пунктом) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции. Для решения поставленной задачи Метод Варда реализуется по формуле Ланса-Вильямса для формирования непересекающихся кластеров населенных пунктов K_i, K_j, K_l размерностью n_i, n_j, n_l соответственно; p_{ij}, p_{il}, p_{jl} – попарные расстояния между кластерами K_i, K_j, K_l . Если кластеры K_i, K_j расположены рядом и могут быть

объединены в один, тогда $p_{(ij)k}$ – расстояние между новым кластером $K_i \cup K_j, K_l$, рассчитываемое рекурсивно:

$$p_{(ij)k} = \alpha_i p_{il} + \alpha_j p_{jl} + \beta p_{ij} + \gamma |p_{il} - p_{jl}| \quad (19);$$

где, $\alpha_i, \alpha_j, \beta, \gamma$ – параметры, которые зависят от размеров кластеров населенных:

$$\alpha_i = \frac{n_i + n_l}{n_i + n_j + n_l} \quad (20);$$

$$\alpha_j = \frac{n_j + n_l}{n_i + n_j + n_l} \quad (21);$$

$$\beta = \frac{-n_l}{n_i + n_j + n_l} \quad (22);$$

$$\gamma = 0 \quad (23).$$

Расстояние между новой парой кластеров находится по формуле:

$$p(K_i \cup K_j, K_l) = \frac{n_i + n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_i, K_l) + \frac{n_j + n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_j, K_l) - \frac{n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_i, K_j) \quad (24).$$

Для определения оптимального количества кластеров анализируется евклидово расстояние между населенными пунктами на каждом шаге кластеризации. Выбирается тот шаг кластеризации, при котором произошло первое большое увеличение евклидова расстояния, далее выбирается количество кластеров, сформированное на этом шаге.

Полученные результаты кластеризации арктических населенных пунктов Республики Саха (Якутия) представлены на рисунке 7.

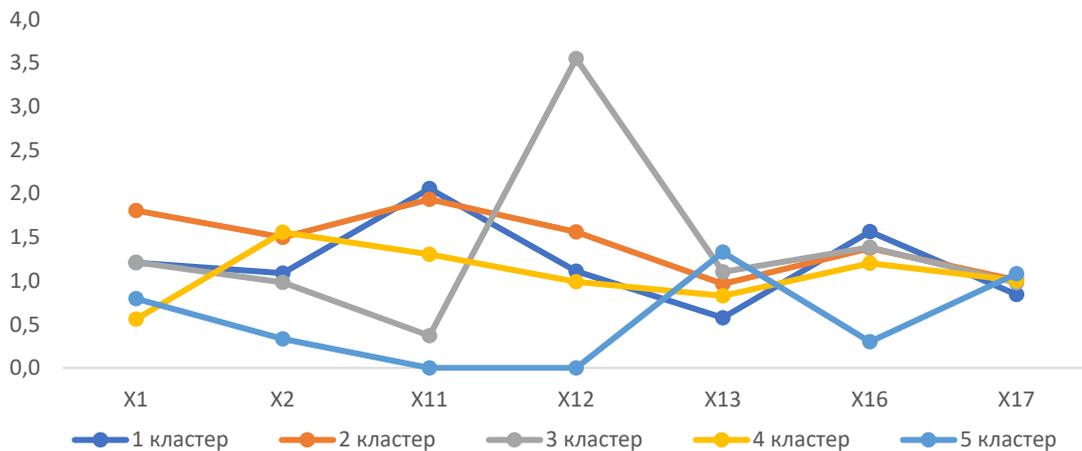


Рисунок 7 - Средние нормированные значения критериев по кластерам арктических населенных пунктов Республики Саха (Якутия)

Кластеры, сформированные методом Варда, достаточно равномерны, они включают 11, 10, 6, 16 и 22 населенных пункта соответственно. Характеристика полученных кластеров представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Максимальные, минимальные и средние натуральные значения критериев по кластерам населенных пунктов РС(Я).

Критерии			Кластеры				
			I	II	III	IV	V
Переменные			Количество населенных пунктов				
			11	10	6	16	22
Численность населения, чел	X1	Mean	452	676	454	210	297
		Min-max	(242-578)	(469-1017)	(254-778)	(53-479)	(66-841)
Расстояние до районного аэропорта по прямой, км	X2	Mean	101	139	91	144	31
		Min-max	(39-159)	(67-261)	(60-133)	(53-249)	(1-76)
Авиационная внутридульная подвижность населения	X11	Mean	0,50	0,47	0,09	0,32	0,00
		Min-max	(0,39-0,56)	(0,20-0,77)	(0,05-0,14)	(0,17-0,77)	0,00
Количество человек в расчете на число выполненных рейсов с районным аэропортом в год	X12	Mean	28	39	89	25	0
		Min-max	(20-32)	(15-56)	(47-185)	(10-56)	0
Наличие альтернативных видов сообщения с районным аэропортом	X13	X	автозимник	автозимник и водный транспорт	автозимник и водный транспорт	Автозимник и водный транспорт	Круглогодичное сообщение
Наличие в населенном пункте посадочной полосы, всего (действ/не действ.)	X16	Всего (действ/не действ.)	11 (8/3)	8 (6/2)	5 (3/2)	10 (8/2)	2 (1/1)
		Mean	0,392	0,468	0,455	0,466	0,501
Коэффициент авиационной транспортной доступности	X17	Min-max	(0,381-0,438)	(0,430-0,512)	(0,379-0,512)	(0,407-0,544)	(0,396-0,544)
		Mean	0,392	0,468	0,455	0,466	0,501
Количество месяцев в году, в течение которых предьявляется спрос на авиаперевозки	q^{st}	X	8 (май-ноябрь)	12 (январь-декабрь)	3 (май, октябрь, ноябрь)	12 (январь-декабрь)	0 X

Анализ результатов, представленных в таблице 4 показал, что спрос на местные авиаперевозки в населенных пунктах первого кластера предьявляется 8 месяцев в году в период отсутствия автозимников (с мая по ноябрь), в населенных пунктах второго и четвертого кластеров – круглогодично, в населенных пунктах третьего кластера – три месяца в году в периоды межсезонья (май, октябрь и ноябрь), в населенных пунктах пятого кластера потребность в авиаперевозках отсутствует. Распределение сезонного спроса внутри кластеров позволяет рассчитать ежемесячный пассажиропоток по каждому населенному пункту. Расчетным путем было установлено, что для выполнения рейсов вертолетами МИ-8 с частотой 2 раза в месяц и загрузкой не менее 70% минимальный ежемесячный пассажиропоток должен составлять 31 чел., а при частоте 3 раза в месяц – 46 чел., рисунок 8.

В населенных пунктах, где пассажиропоток более чем 5 месяцев в году меньше установленного порогового уровня, необходимо строительство посадочной полосы, которая позволит принимать легкие самолеты вместимостью до 9 кресел и обеспечит достаточную загрузку ВС.

На основании анализа пассажиропотоков местных авиалиний в арктических регионах и нормативов времени, затрачиваемых на поездку пассажиров от населенного пункта до районного аэропорта, было установлено, что максимальное расстояние притяжения районного аэропорта составляет 150 км, так как такое расстояние можно преодолеть по автозимнику за 3 часа. Расчет расстояния притяжения районного аэропорта подтверждается данными зарубежных исследований, проводимых в Северной Канаде и на Аляске.

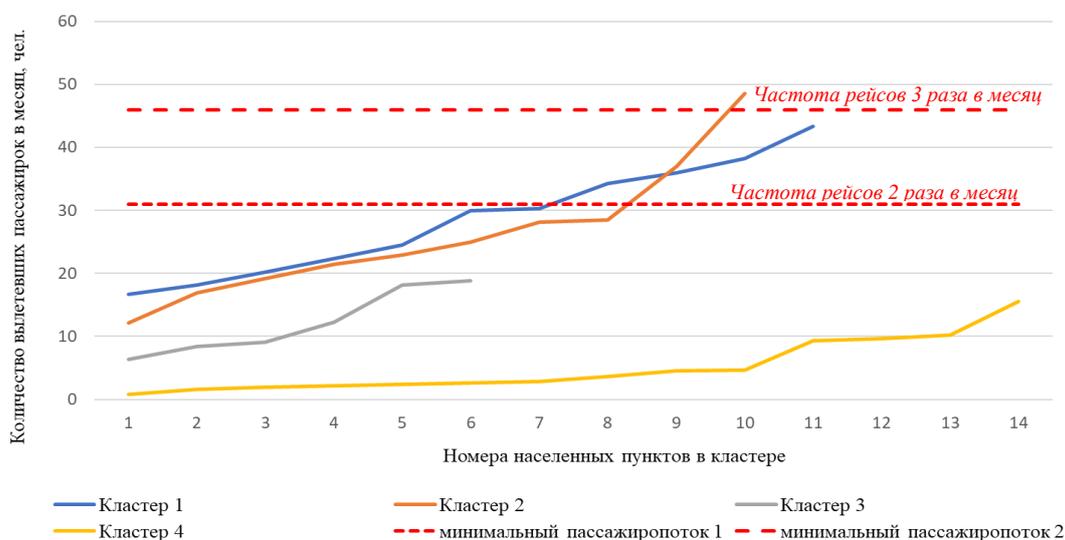
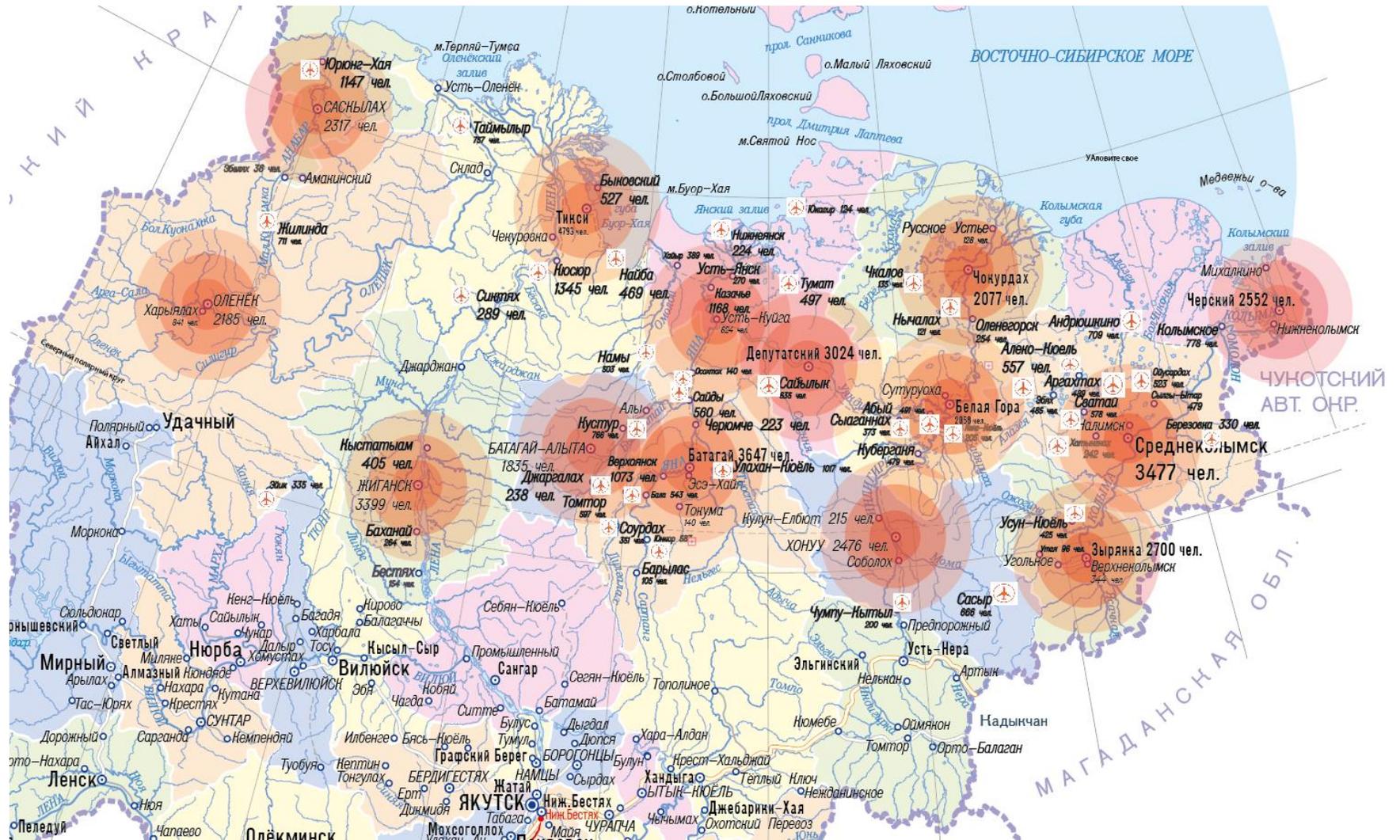


Рисунок 8 – Месячный спрос на местные авиаперевозки в четырех кластерах населенных пунктов Республики Саха (Якутия)

В арктических населенных пунктах, не попадающих в зону притяжения районного аэропорта, необходимо строительство посадочной полосы для организация регулярного воздушного сообщения с частотой не менее 1 раза неделю. Таким образом, решение о строительстве посадочной полосы в арктическом населенном пункте принимается, в следующих случаях: населенный пункт не попадает в зону притяжения действующего районного аэропорта; населенный пункт попадает в зону притяжения районного аэропорта, спрос на пассажирские авиаперевозки с ним предъявляется более 5-ти месяцев в году и ежемесячный пассажиропоток составляет менее 32 человек.

Проектируемая сеть посадочных площадок Республики Саха (Якутия), построенная на основе результатов оценки сезонного распределения пассажиропотоков представлена на рисунке 9. Окружностями с градиентной заливкой на карте отмечены зоны притяжения действующих районных аэропортов с шагом в 50 км. Значком  обозначены места строительства посадочных полос. С двенадцатью населенными пунктами: Таймалыр, Жилинда, Эйик, Сиктях, Намы, Суордах, Нижнеянк, Юкагир, Тумат, Сасыр, Алеко-Кюель, Андрюшкино, расположенными вне зоны притяжения действующих районных аэропортов, необходимо организовать регулярное авиасообщение.

В пятой главе разработаны и научно обоснованы метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки действующей маршрутной сети; метод расчёта пассажиропотоков по вновь открываемым прямым авиационным маршрутам между центрами арктических районов; усовершенствована методика оценки потребного парка воздушных судов для обеспечения местных авиаперевозок.



Условные обозначения:

- Зона притяжения действующего районного аэропорта (50-100-150 км);
 ✈ Проектируемые посадочные площадки

Рисунок 9 – Зоны притяжения действующих районных аэропортов и проектируемая сеть посадочных площадок для обслуживания местных авиаперевозок арктических населенных пункта РС(Я)

Расчет потребности парка воздушных судов для обслуживания межрайонных перевозок не осуществлялся, так как действующий парк эффективно решает поставленную задачу. Главной проблемой межрайонных перевозок является недозагрузка воздушных судов, решить которую позволит увеличение пассажиропотока местных авиаперевозок.

Метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки действующих маршрутов заключается в последовательном решении двух задач: прогнозе спроса на перевозки между населенными пунктами и центром арктического района и на его основе прогнозе спроса на межрайонные перевозки из районного центра в столицу региона. Прогнозирование спроса на местные и межрайонные авиаперевозки осуществляется на основе построения многофакторной регрессионной модели. Формализованное описание метода представлено на рисунке 10. Данный метод позволяет планировать объем пассажиропотоков действующих внутрирегиональных авиалиний при изменении разных факторов.



Рисунок 10 - Формализованное описание метода двухуровневого прогнозирования спроса на авиаперевозки действующих маршрутов региона

При прогнозировании спроса на местные авиаперевозки были рассмотрены 18 факторов, определенные экспертным путем, таблица 3. Построение модели множественной регрессии осуществлялось по 42

населенным пунктам Республики Саха (Якутия) за вычетом населенных пунктов, относящихся к 5 кластеру и не предъявляющих спрос на авиаперевозки. Уравнение линейной регрессии в матричном виде имеет вид:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (25),$$

$$E(\varepsilon) = 0; D(\varepsilon) = \delta^2 In \quad (26);$$

где, $Y=[y_1 y_k]$ – вектор-столбец значений зависимой переменной порядка n (n – число наблюдений), T – символ транспонирования, X – матрица независимых переменных (факторов, предикторов) порядка $n \times k$ (k – число независимых переменных), $\beta=[\beta_1 \beta_k]^T$ – вектор-столбец размерности k неизвестных коэффициентов регрессии, $\varepsilon=[\varepsilon_1 \varepsilon_k]^T$ – вектор случайных составляющих порядка n , $E(\varepsilon)$ – вектор математического ожидания вектора ε , $D(\varepsilon)$ – ковариационная матрица случайной составляющей ε , In – единичная матрица порядка $n \times n$.

Неизвестные переменные β рассчитываются по формуле:

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (27).$$

Прогноз зависимой переменной примет вид:

$$\hat{y}(x) = X^T \hat{\theta} \quad (28).$$

Проверка объективности или точности прогнозирования выполняется методом наименьших квадратов. Коэффициент детерминации R^2 определяет качество подгонки регрессионной модели к наблюдаемым значениям y_i .

$$\|y - \bar{y}\|^2 = \| |y - \hat{y}|^2 + |\hat{y} - \bar{y}|^2 \| \quad (29);$$

$$R(y, \hat{y}) = \frac{(\hat{y} - \bar{y})^2}{(y - \bar{y})^2} \quad (30).$$

Если $R^2=0$, то регрессия y на x_1, \dots, x_n не улучшает качество предсказаний y_i по сравнению с тривиальным предсказанием $\hat{y}_i = \bar{y}$. $R^2=1$ означает точную подгонку. R^2 возрастает с ростом числа переменных в регрессии, но это не означает улучшения качества предсказания.

Всего в процессе исследования было построено более 60 уравнений регрессии, из которых наиболее значимыми оказались два. Первое уравнение учитывает влияние четырех факторов: численность населения, средний ежемесячный фонд оплаты труда одного работника, общее расстояние перелета от арктического населенного пункта до центра региона, численность населения в расчете на количество совершаемых авиационных рейсов между населенным пунктом и районным аэропортом. Второе уравнение учитывает: численность населения, наличие в населенном пункте добычи полезных ископаемых, общее расстояние перелета от арктического населенного пункта до центра региона, численность населения в расчете на количество совершаемых авиационных рейсов между населенным пунктом и районным аэропортом:

$$y_a^1 = -129,344 + 0,465x_1 + 0,002x_7 + 0,101x_{10} - 3,653x_{12} \quad (31);$$

$$y_d^2 = -108,616 + 0,381x_1 + 205,910x_9 + 0,142x_{10} - 2,417x_{12} \quad (32).$$

R^2 первого уравнения составляет 0,71, второго уравнения – 0,853. Наиболее значимым является второе уравнение. Анализ показал, что чем больше расстояние перелета от арктического населенного пункта до г. Якутск (X_{10}), тем выше спрос на местные авиаперевозки, так как снижается возможность добраться до основного транспортного хаба региона альтернативными видами сезонного сообщения. Наличие в арктическом населенном пункте осваиваемых полезных ископаемых (X_9) оказывает наибольшее влияние на уровень спроса при совершении местных авиаперевозок. Достоверность результатов прогнозирования была проверена с помощью классических статистических методов и сравнения расчетных результатов с наблюдаемыми значениями в 2019 г. Точность прогноза с помощью полученного уравнения составила 74,8%.

На втором уровне была разработана модель множественной регрессии прогнозирования авиационной подвижности населения между районными центрами и столицей региона. Для построения данного уравнения использовались 18 факторов, определенные экспертным путем, приведенные в таблице 3. Построение уравнения осуществлялось на основе данных 22 районов Республики Саха (Якутия), в которые имеется аэропорт из которого отсутствует возможность вылететь за пределы региона. Наиболее значимое уравнение учитывает влияние двух факторов: среднего ежемесячного фонда оплаты труда одного работника и наличие круглогодичного автомобильного сообщения между районным аэропортом и центром региона:

$$y_q^3 = 0,689752 + 0,000006x_7 - 0,853534x_{14} \quad (33).$$

Чем выше фонд оплаты труда в районе, тем выше авиационная подвижность, наличие автомобильного сообщения с центром региона ее снижает. $R^2 = 0,884$. Достоверность результатов прогнозирования была проверена с помощью классических статистических методов и сравнения расчетных результатов с наблюдаемыми значениями в 2019 г., точность прогноза составила 86,5%.

Прогнозирование пассажиропотока на межрайонные авиаперевозки второго уровня с учетом прогнозов, полученных на первом уровне, осуществляется по формуле:

$$d_{ir} = (0,689752 + 0,000006x_4 - 0,853534x_8)p_{ir} + \sum_{i=1}^I \delta_i y_{d_i}^2 \quad (34),$$

где, $y_{d_i}^2$ – пассажиропоток из населенных пунктов арктического района в центральный районный аэропорт; δ_i – доля пассажиропотока, которая вылетает за пределы арктического района; p_{ir} – прогнозное значение численности населения в районном центре.

Для прогнозирования пассажиропотока по вновь открываемым прямым авиационным маршрутам между центрами арктических районов разработана новая методика, основанная на анализе инфраструктуры этих районов и

выявлении возможности и целесообразности удовлетворения части социальных и бытовых потребностей населения в соседних районах. Формализованное описание методики представлено на рисунке 11.



Рисунок 11 – Формализованное описание методики прогнозирования пассажиропотоков по вновь открываемым прямым авиационным маршрутам

При построении региональной сети потенциальных авиационных маршрутов между центрами арктических районов учитывается действующая маршрутная сеть, географическое расположение и границы зон притяжения районных аэропортов. Прогнозирование пассажиропотока осуществляется отдельно в прямом и обратном направлениях, так как каждый арктический район имеет свои факторы притяжения. Прогнозирование пассажиропотока осуществляется по следующей формуле, с учетом установленного размера субсидируемого тарифа и среднего ФОТ работников, так как авиакомпания не может оказывать влияние на эти показатели:

$$D_{i'r_jr} = \sum_{a=1}^A q^a (P_{i'r} + \sum_{i=1}^I D_i), a \in A \quad (35);$$

где, q^a - прогнозируемое количество полетов по вновь открываемому маршруту в связи с действием фактора притяжения a , $P_{i'r}$ – численность населения в центре арктического района, D_i – прогнозируемый пассажиропоток из населенных пунктов зоны притяжения районного аэропорта.

Выявление факторов притяжения районных аэропортов осуществляется на основе анализа инфраструктуры районных центров и проведения социологических опросов местного населения относительно целей и частоты планируемых перелетов по проектируемым маршрутам с учетом установленной регулярности и стоимости. Для

апробации предлагаемой методики был проведен анализ инфраструктуры Колымской группы арктических районов РС(Я). На рисунке 12 представлен фактический полигон частот совершения перелетов за пределы района в год одним жителем.

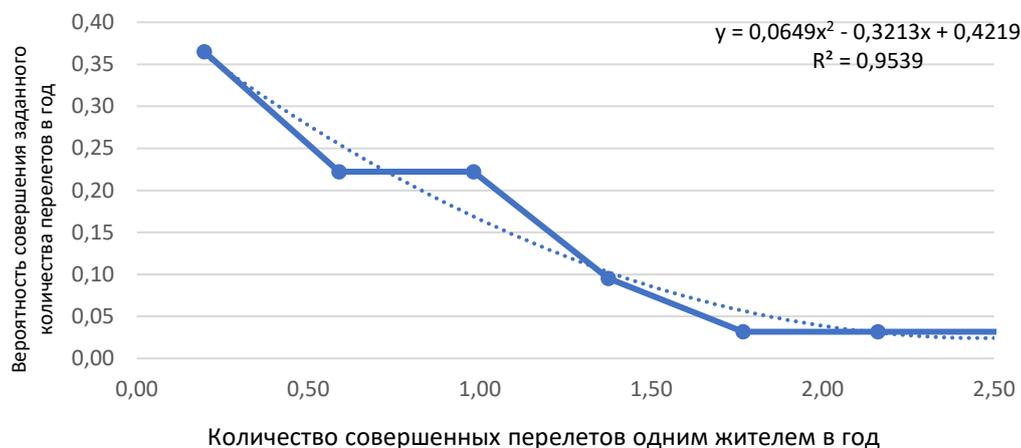


Рисунок 12 - Полигон частот совершения перелетов за пределы района в год

Прогнозирование пассажиропотока рассмотрено на примере открытия прямого маршрута Черский – Среднеколымск. Для построения вероятностной модели количества совершаемых перелетов одним жителем в год по данному маршруту было собрано 122 анкеты. Открытие данного маршрута позволит в три раза увеличить внутрирегиональную межрайонную авиационную подвижность населения (с 0,98 до 2,98) главным образом за счет возможности получения услуг медицинского обслуживания в соседнем районе, рисунок 13. Стоимость перелета по рассматриваемому маршруту на 55% ниже, чем стоимость перелета столицу региона.

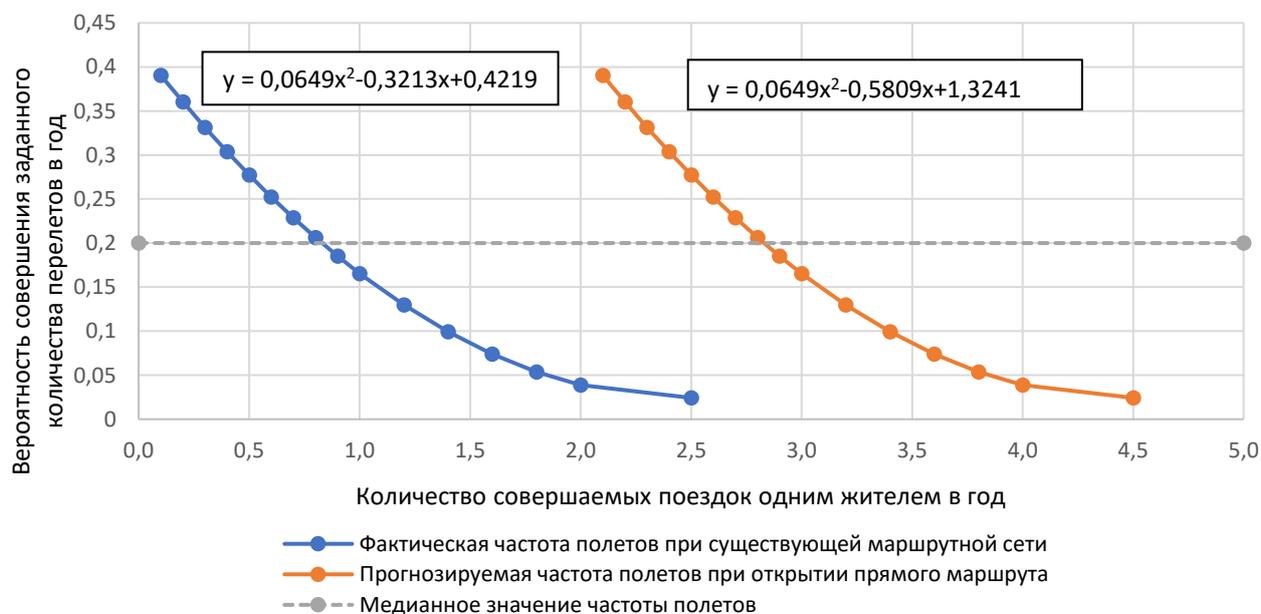


Рисунок 13 - Фактический и прогнозный графики распределения вероятности количества совершаемых межрайонных перелетов одним жителем в год при открытии прямого маршрута Черский - Среднеколымск

Проверка достоверности разработанной методики осуществлялась на основе анализа пассажиропотоков прямых регулярных авиационных рейсов между аэропортами Аляски.

С учетом результатов прогнозирования спроса на внутрирегиональные местные и прямые межрайонные авиаперевозки в регионах Восточной Арктики усовершенствована методика обоснования потребности парка воздушных судов по количеству и типоразмерам, позволяющая находить рациональный баланс между потребностью населения в увеличении частоты совершаемых рейсов и задачей сокращения затрат на организацию перевозки. Блок-схема алгоритма решения задачи обоснования потребности парка ВС для обслуживания местных и межрайонных прямых авиаперевозок представлена на рисунке 14.

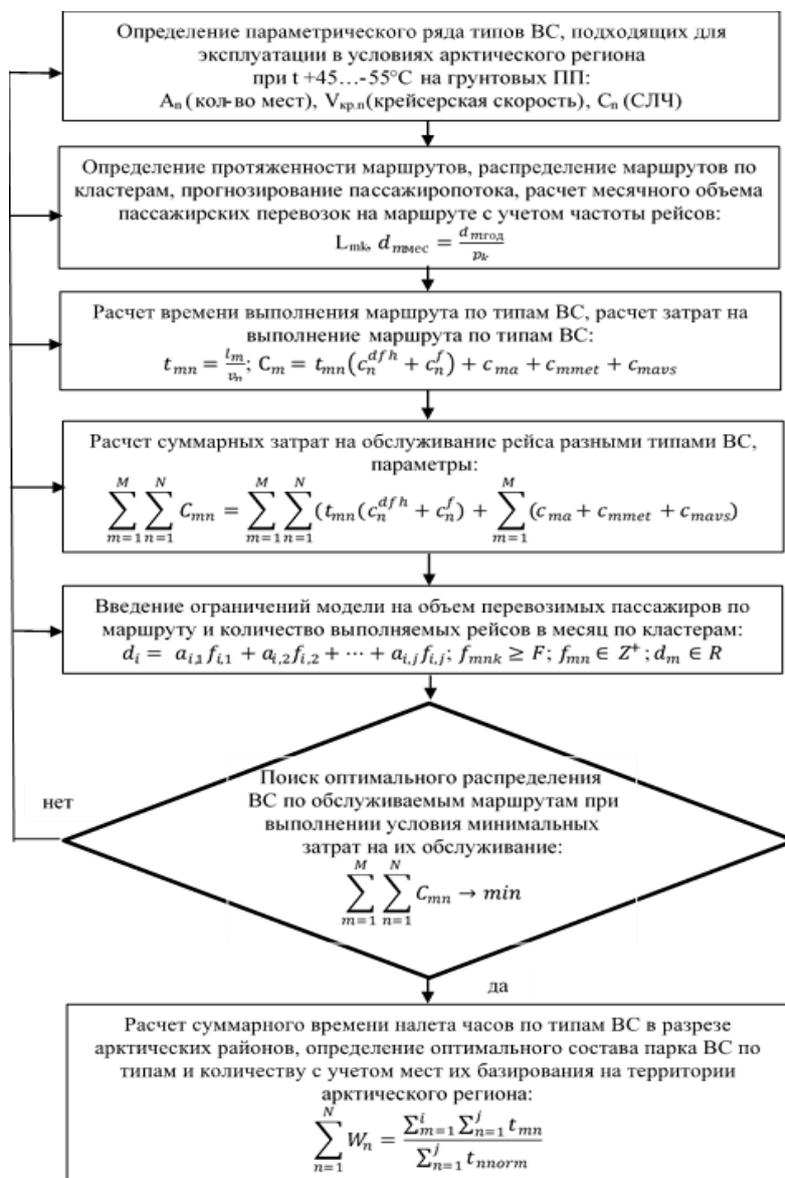


Рисунок 14 - Блок-схема алгоритма решения задачи обоснования потребности парка ВС для обслуживания местных авиаперевозок арктического региона

Решение задачи обоснования потребности парка воздушных судов для обслуживания местных авиаперевозок сводится к минимизации затрат на выполнение рейсов при заданной частоте не менее 2-х раз в месяц:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C_{mn} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{mn} \frac{l_m}{v_n} (c_n^{dfh} + c_n^f) + \sum_{i=1}^M (c_{ma} + c_{mmet} + c_{mavs}) \rightarrow \min \quad (36);$$

$$W_n = \frac{\sum_{m=1}^i t_{mn}}{\sum_{n=1}^j t_{nnorm}}; \quad t_{mn} = \frac{l_m}{v_n}; \quad d_{m\text{мес}} = \frac{d_{m\text{год}}}{p_k} \quad (37).$$

В данной модели используются следующие переменные:

M – количество маршрутов местных авиалиний, $m = (\overline{1, M})$

N – количество используемых типов ВС, $n = (\overline{1, N})$

a_n – пассажироместимость ВС по типам,

C_{mn} – общие затраты на выполнение полета

f_{mn} – количество рейсов, выполняемых по маршруту m воздушным судном n типа в год

t_{mn} – время полета воздушным судном n типа по маршруту m

t_{nnorm} – годовой норматив налета часов воздушным судном n типа

l_m – протяженность маршрута

v_n – скорость ВС n типа

c_n^{dfh} – стоимость сухого летного часа ВС n типа

c_n^f – стоимость топлива на 1 ч. полета для ВС n типа

c_{ma} – аэропортовые сборы

c_{mmet} – сборы за метеорологическое обслуживание

c_{mavs} – сборы за аэронавигационное обслуживание

d_m – прогнозируемый пассажиропоток по маршруту m местных авиалиний

W_n – количество ВС n типа

p_k – количество месяцев в году, в течение которых выполняются пассажирские авиаперевозки в населенные пункты кластера k

K – номер кластера, в который входит населенный пункт

g_m – количество рейсов, выполняемых в месяц по маршруту m

Z^+ – целые положительные числа рассматриваемой области определения.

Ограничения модели:

$$\sum_{m^{out}=1}^{M^{out}} f_{mn} = \sum_{m^{in}=1}^{M^{in}} f_{mn} \quad (38)$$

$$f_m \leq \sum_n^N f_{mn} \quad (39);$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{mn} t_{mn} \leq \sum_{n=1}^N t_{nnorm} W_n \quad (40);$$

$$\frac{f_m}{p_k} \geq g_m \quad (41);$$

$$d_{m\text{год}} \leq \sum_{n=1}^J f_{mn} a_n \quad (42);$$

$$f_{mn} \geq 0 \quad (43);$$

$$f_{mn} \in Z^+; w_n \in Z^+; k = (\overline{1, K}); p_k = 1, \dots, 12; d_m \in Z^+ \quad (44).$$

Ограничение 38 показывает, что количество вылетевших рейсов по всем маршрутам M из населенных пунктов в районные аэропорты равно количеству прибывших рейсов. Ограничение 39 показывает, что количество выполняемых рейсов по маршруту m не больше, чем сумма рейсов, выполняемых по этому маршруту каждым типом имеющихся воздушных судов n . Ограничение 40 показывает, что планируемое время выполнения всех рейсов не может превосходить годовой норматив налета часов используемого парка ВС. Ограничение 41 показывает, что частота выполняемых рейсов в месяц по маршруту m должна быть не меньше заданного уровня. Ограничение 42 показывает, что количество перевозимых пассажиров по маршруту m в месяц должно быть не меньше, чем прогнозируемый пассажиропоток с учетом заданной частоты выполняемых рейсов. Ограничение 43 показывает, что количество рейсов, выполняемое по маршруту m , не может быть меньше 0. Ограничения 44 показывают, что количество выполняемых рейсов в месяц по маршруту m , количество ВС типа n , прогнозируемый пассажиропоток по маршруту m являются положительными целыми числами.

Результаты применения данной методики показали, что при замене вертолетов МИ-8 самолетами типа АН-2 / АН-3 / Байкал на ряде маршрутов возможно добиться снижения затрат на перевозку одного пассажира на 26,5% за счет снижения расхода топлива и увеличения коэффициента загрузки воздушного судна при одновременном увеличении количества выполняемых рейсов на 35%. Увеличение количества выполняемых рейсов по данным опросов приведет к росту авиационной подвижности населения на местном уровне, создавая дополнительный спрос на межулусные авиаперевозки, что является результирующим показателем повышения транспортной доступности.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги, рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы диссертации заключаются в следующем:

1. Выявлены закономерности развития транспортной системы регионов Восточной Арктики России, основные из которых заключаются в следующем: отсутствии железнодорожного транспорта и автомобильных дорог круглогодичного использования; преобладании водного транспорта (до 78 % от общего объема перевозимых грузов) в сложных мультимодальных схемах завоза грузов, осуществляемых в несколько этапов в среднем в течение 350 дней в году

связи с природно-климатическими ограничениями; безальтернативности использования воздушного транспорта для выполнения круглогодичных пассажирских перевозок (98 %).

2. Определено, что эффективное использование воздушного транспорта осложнено низкой плотностью населения и его дисперсионным расселением на большой территории, что не позволяет выполнять рейсы с достаточной частотой и загрузкой по требуемому количеству маршрутов. Выявлено, что 99 % авиационных перевозок на местном уровне выполняется крайне дорогими в эксплуатации в арктических условиях вертолетами МИ-8 вместимостью 22-24 места, что приводит к сокращению количества рейсов.

3. Разработаны и научно обоснованы теоретические положения концепции обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики, в рамках которой конкретизировано понятие «авиационная доступность региона», структурированы функции и виды услуг, безальтернативно выполняемые воздушным транспортом, позволяющие спрогнозировать потребность развития элементов системы воздушного транспорта на основе оценки совокупного спроса и скрытых социально-экономических эффектов, получаемых от них.

4. Получена зависимость между внутрорегиональной авиационной подвижностью населения арктических районов, стоимостью перелета и временем его ожидания в связи с несогласованностью расписания стыковочных рейсов и их задержкой из-за погодных условий. Разработана новая комплексная методика оценки транспортной доступности арктического региона на районном и местном уровнях, включающая оценки доступности пассажирских перевозок, доступности перевозок социально значимых скоропортящихся грузов, доступности оказания услуг санитарной авиации и МЧС, учитывающая сезонные ограничения. На примере Республики Саха (Якутия) выявлено, что уровень доступности пассажирских перевозок в 12 раз ниже норматива по времени и в 35 раз ниже по стоимости, уровень доступности перевозок социально значимых скоропортящихся грузов сильно варьирует в течение года, уровень доступности услуг санитарной авиации и МЧС в наиболее отдаленных населенных пунктах ниже предельно допустимого в 1,7 раза.

5. Усовершенствован и экспериментально подтвержден метод оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок малочисленных населенных пунктов, позволяющий разделить их на кластеры, для которых применяется индивидуальная стратегия обеспечения авиационной доступности. Отличие данного метода от существующих заключается в формировании кластеров с учетом одновременно большого количества критериев, определяющих размер спроса на авиаперевозки и его сезонное распределение. Для Республики Саха (Якутия) получено пять кластеров. В первом авиаперевозки

необходимо выполнять 8 месяцев в году вертолетами и легкими многоцелевыми самолетами (ЛМС), во втором – круглогодично вертолетами и ЛМС, в третьем – 3 месяца в году вертолетами, в четвертом – круглогодично ЛМС, в пятом авиаперевозки не требуются из-за наличия альтернативных видов сообщения. Данный метод позволяет обосновывать потребность развития сети посадочных площадок и вертодромов в арктических населенных пунктах.

6. Разработан метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки действующих маршрутов, отличающийся от известных последовательным решением двух задач: прогнозом спроса на перевозки между населенными пунктами и центром арктического района и на его основе прогнозом спроса на межрайонные перевозки из районного центра в столицу региона. Данный метод позволяет планировать объем пассажиропотоков действующих внутрирегиональных авиалиний при изменении разных параметров.

7. Разработана и научно обоснована методика расчета пассажиропотоков на вновь открываемых прямых авиационных маршрутах между центрами соседних арктических районов, учитывающая инфраструктуру районных центров, численность проживающего населения и его потребности в совершении перелетов. Установлено, что открытие прямых маршрутов позволит втрое увеличить межрайонную авиационную подвижность населения с 0,98 до 2,98 поездок в год. Данная методика позволяет прогнозировать пассажиропотоки по вновь открываемым маршрутам и изменять конфигурацию маршрутной сети авиакомпаний.

8. Усовершенствована методика оценки потребного парка воздушных судов для организации местных авиаперевозок, позволяющая находить рациональные комбинации используемых видов авиационной техники с учетом заданной частоты совершаемых рейсов и условия минимизации затрат на их выполнение. Результаты применения данной методики показали, что при замене вертолетов МИ-8 самолетами типа АН-2 / АН-3 / Байкал на ряде маршрутов возможно добиться снижения затрат на перевозку одного пассажира на 28% за счет снижения расхода топлива и увеличения коэффициента загрузки воздушного судна при одновременном увеличении количества выполняемых рейсов. Установлено, что увеличение количества выполняемых рейсов приведет к росту авиационной подвижности населения на местном уровне до 0,65. Данная методика позволяет авиакомпаниям и региональным властям планировать состав парка воздушных судов для организации заданной частоты полетов. Экономически обоснована целесообразность строительства посадочных площадок в населенных пунктах, в которых спрос на пассажирские авиаперевозки предъявляется более 5 месяцев в году.

9. Разработанные в диссертации концепция и комплекс методов и методик обеспечения авиационной доступности регионов Восточной Арктики соответствует Национальным целям развития Российской Федерации; Основам государственной политики РФ в Арктике, Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечению национальной безопасности; Транспортной стратегии РФ; Комплексному плану модернизации и расширения магистральной инфраструктуры и Доктрине продовольственной безопасности РФ.

10. По результатам исследования для обеспечения авиационной доступности арктических регионов рекомендуется: внесение поправок в нормативно-правовое регулирование в части упрощения требований к аэропортам, посадочным площадкам и вертодромам с малой интенсивностью полетов; введение в Воздушный кодекс понятия малой авиации, упрощение требований к коммерческим авиакомпаниям, эксплуатирующим ЛМС; развитие сети посадочных площадок; организация отечественного производства многоцелевых ВС вместимостью 9-12 и 2-4 кресла с увеличенной дальностью полетов для выполнения авиаперевозок в малочисленные населенные пункты.

11. Перспективным направлением исследования по теме диссертации является исследование вопросов применения искусственного интеллекта и цифровых двойников сложных объектов и подсистем для управления воздушным транспортом Восточной Арктики. Детальной научно-методологической проработки требуют вопросы организации и управления системой завоза грузов беспилотными летательными аппаратами и создания надежной инфраструктуры для их обслуживания в арктических регионах.

IV. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях:

1. Полешкина И.О. Оценка эффективности продовольственного обеспечения районов Крайнего Севера России // Экономика региона. – 2018. – Т.14, №3. – С. 820-835. DOI: 10.17059/2018-3-10

2. Полешкина И.О. Полифункциональность транспортной системы северных регионов // Мир транспорта. – 2019. – Т.17, №2 (81). – С. 104-116. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-2-104-116

3. Poleshkina I.O. Transportation of perishable goods by air: handling problems at Russian airports // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. - 2020. - Т. 23, № 6. - С. 65-83. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-6-65-83

4. Полешкина И.О., Васильева Н.В. Технология blockchain как инструмент управления цепями поставок с участием воздушного транспорта // Научный вестник

Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2020. – Т. 23, №2. – С. 72-86. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-2-72-86

5. Полешкина И.О., Лутин А.Н. Развитие транспортной доступности и транспортной связанности черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 5 (96). - С. 83-90. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-5-10

6. Полешкина И.О. Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 4 (95). - С. 82-91. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-4-9

7. Ефремов А.С., Полешкина И.О. Технология блокчейн: перспективный инструмент отслеживания доставки грузов "Северного Завоза" // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - № 3-5 (78). - С. 78-87. DOI: 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-78-87

8. Созыкин И.О., Полешкина И.О. Развитие аэропортовой сети Чукотского автономного округа: повышения транспортной доступности региона // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - № 3-5 (78). - С. 63-72. DOI: 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-63-72

9. Шапошникова О.С., Полешкина И.О. Модель развития направлений пассажирских авиасообщений в структуре маршрутной сети аэропорта "Якутск" // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - № 3-5 (78). - С. 27-38. DOI: 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-27-38

10. Полешкина И.О. Роль малой авиации в обеспечении транспортной доступности арктических регионов: проблемы и направления развития // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. - 2022. - Т. 25, № 2. - С. 54-69. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-54-69

11. Полешкина И.О. Методика оценки транспортной доступности населенных пунктов Арктической Зоны России // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 5. - С. 32-37.

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science:

12. 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.

13. 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.

14. Poleshkina I.O., Rubtsov E.S. Shevelev, O.S. Development of an Unmanned Aerial Vehicle for the Delivery of Goods to the Northern and Remote Regions of Russia // 2021 18th Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky, TSCZh 2021, 2021. – Pp. 19–23.

15. Poleshkina I. Methodology for Evaluating Transport Accessibility in the Arctic Zone: Organization of Passenger Transportation // Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023. - Pp. 425–432.

16. Poleshkina I.O. Blockchain in air cargo: challenges of new // World. MATEC. – 2021. – N. 341. - 00021. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202134100021>.

Свидетельство на программу для ЭВМ:

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616217. Программа расчета общего и среднего времени совершения перелетов между арктическим населенными пунктами региона/ И.О. Полешкина, К.В. Леонов. – Заявка №2023614734 дата поступления 7 марта 2023 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23 марта 2023 г.

Публикации в других изданиях:

18. Полешкина И.О. Особенности транспортировки скоропортящихся грузов воздушным транспортом // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию Университета, 2016. - С. 233.

19. Полешкина И.О. Логистические риски доставки грузов в регионы Крайнего Севера России // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. сборник тезисов докладов, 2018. - С. 271.

20. Полешкина И.О. Проблемы транспортного обеспечения цепей поставок продовольствия в районы Крайнего Севера России // Перспективы развития логистики и управления цепями поставок: сборник научных трудов VII Международной научной конференции (18 апреля 2017 г.): в 2 частях/ науч.ред. В.И. Сергеев. — М.: Изд. «Эс-Си-Эм Консалтинг», 2017. – 223-242 с.

21. Полешкина И.О. Применение современных технологий в грузовом терминале аэропорта: зарубежный опыт и российская практика // Логистика: современные тенденции развития. Материалы XIX Международной научно-практической конференции. Редколлегия: В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.], 2020. - С. 43-49.

22. Полешкина И.О. Использование информационных технологий для совершенствования логистики международных цепей поставок скоропортящейся продукции // Актуальные проблемы управления - 2019. материалы 24-й Международной научно-практической конференции. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Государственный университет управления. Москва, 2020. - С. 318-322.

23. Полешкина И.О. Влияние развития сети региональных воздушных перевозок на территории крайнего севера // Логистика - евразийский мост. Материалы XV Международной научно-практической конференции, 2020. - С. 124-127.

24. Полешкина И.О. Развитие транспортной связанности Арктической Зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. 2021. - № 1 (3). - С. 144-148.

25. Рубцов Е.С., Полешкина И.О., Шевелев О.С. Создание беспилотной воздушной транспортной системы для доставки грузов в северные и труднодоступные районы России // XIV Всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2021. Материалы XIV мультikonференции в 4 томах. Ростов-на-Дону - Таганрог, 2021. С. 90-93.

26. Полешкина И.О. Проблемы оценки транспортной доступности северных регионов // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2021. Материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. - С. 57-60.

27. Полешкина И.О. Методика оценки транспортной доступности районов Арктической Зоны: организация пассажирских перевозок // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Иркутск, 2021. - С. 288-294.

28. Полешкина И.О., Вороницына Г.С. Категории грузов, доставляемые воздушным транспортом: технологические решения для их обработки в аэропорту // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА. Москва, 2021. - С. 424-427.

29. Полешкина И.О. Показатели оценки эффективности организации операционных процессов в грузовом терминале аэропорта // Логистика - евразийский мост. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. Красноярск, 2021. - С. 142-146.

30. Полешкина И.О. Транспортная доступность населенных пунктов Арктической Зоны: проблемы организации доставки социально-значимых грузов // Логистика - евразийский мост. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Красноярск, 2022. - С. 253-257.

31. Полешкина И.О. Транспортная доступность районов Арктической Зоны в аспекте оказания услуг скорой и скорой специализированной медицинской помощи // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера. Сборник материалов III всероссийского форума. Редколлегия: Д.В. Филиппов, В.Ю. Панков, Г.О. Николаева. Якутск, 2022. - С. 67-72.

32. Полешкина И.О. Проблемы оценки и особенности обеспечения транспортной доступности регионов Арктической зоны Восточной Сибири //

Сборник докладов XI Международного форума «Арктика настоящее и будущее» 2-4 декабря 2021 г., Санкт-Петербург. - С. 201-206.

33. Полешкина И.О. Анализ маршрутной сети внутрирегиональных воздушных перевозок и авиационная подвижность населения Республики Саха (Якутия) // Сборник докладов XII Международного форума «Арктика настоящее и будущее» 8-9 декабря 2022 г., Санкт-Петербург. - С. 141-144.

Подписано в печать «05» июля 2023 г.

Усл. печ. л. 2 Тираж 100 экз.

Отпечатано на типографии ФГБОУ ВО «МАДИ»
125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64