



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

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

ФАКУЛЬТЕТ управления на воздушном транспорте

КАФЕДРА управления воздушным движением

Направление подготовки 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация
(код и наименование направления подготовки)
авиационной и ракетно-космической техники

Направленность Навигация и управление воздушным движением
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Анализ и моделирование эффективности применения новых концепций
ИКАО в ЕС ОрВД России

Обучающийся:

Гончаренко Я.В.
(Ф.И.О.)

(Подпись)

Научный руководитель:

к. в. н., доцент Чехов И.А.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

Рецензенты:

д.т.н., профессор Сулаев С.А
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

д.т.н., профессор Прохоров А.В.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

к.и.н., доцент Кочев В.И.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

МОСКВА 2023

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

Создание перспективной аэронавигационной системы предполагает эволюционный путь, интегрирующий в себя все передовые технологии, достижения и наработки в области аэронавигации.

Одной из тенденций развития системы организации воздушного движения является совершенствование технологий аэронавигации. Современные технологии позволяют: повысить пропускную способность, оптимизировать траектории полета, повысить предсказуемость расписания, снизить затраты на обслуживание воздушного движения в аэропортах с низкой интенсивностью полетов, дать возможность гибкого изменения маршрутов.

Ведущие страны активно внедряют передовые технологии (программы SESAR, NextGen и др.). Также международной организацией гражданской авиации (ИКАО) разработан и постоянно актуализируется Глобальный аэронавигационный план, последняя редакция которого содержит программу внедрения перспективных технологий до 2030 года. ИКАО ставит в качестве одной из задач своей деятельности обеспечение согласованности систем организации воздушного движения не только на локальном уровне, но региональном и глобальном. В европейском воздушном пространстве разработан комплекс инициатив (SES), призванный создать «бесшовное» воздушное пространство над странами, входящими в зону Евроконтроля, и ввести в нем единые правила полетов. В настоящий момент осуществляется кооперация между США и Европейским союзом с целью синхронизации аэронавигационных систем этих регионов.

Будучи членом ИКАО, Россия не может оставаться в стороне от этих процессов. Современные тенденции использования воздушного пространства демонстрируют важность глубокого анализа интенсивности воздушного движения, требуют координации планирования, а также распределения средств и усилий всех сторон, участвующих в воздушном движении для обеспечения максимальной эффективности функционирования системы организации воздушного движения (ОрВД).

В данной работе проведен анализ активности зон ограничения полетов, рассмотрены возможные варианты совершенствования процессов обслуживания воздушного движения и повышения экономической эффективности воздушного пространства путем внедрения в Российской Федерации условных маршрутов обслуживания воздушного движения, описаны принципы организации воздушного движения при гибком использовании воздушного пространства (FRA). Продемонстрирована практика по переходу к более оптимальной организации воздушного пространства и применению концепции FRA, а также обозначена необходимость поэтапного внедрения таких принципов организации воздушного движения. Кроме того, проведено исследование мероприятий по созданию условий для полетов беспилотных авиационных систем (БАС).

Объектом исследования в работе является Единая система организации воздушного движения в Российской Федерации.

Предмет исследования – концепции и технологии организации воздушного движения, предложенные экспертами ИКАО, необходимые в условиях производства полетов в Российской Федерации.

Цели и задачи. Целью данной работы является создание аналитического аппарата и построение имитационной модели для оценки эффективности использования новых концепций ИКАО в Российской Федерации.

Поставленная цель логически предопределяет необходимость решения следующих взаимосвязанных задач:

1. Обзор и анализ существующих методов повышения эффективности использования воздушного пространства.
2. Анализ применения концепций ИКАО в Единой системе организации воздушного движения (ЕС ОрВД) России.
3. Моделирование технологий организации воздушного движения, предложенных экспертами ИКАО, в условиях производства полетов в Российской Федерации.
4. Разработку рекомендаций на основе полученных расчетов.

Методы исследования. В качестве наиболее результативных методов исследования приняты общие методы научного познания, используемые как на эмпирическом, так и на теоретическом уровне исследования, к числу которых относятся в том числе анализ, синтез и моделирование.

Научная новизна. Концепции ИКАО содержат технологическое описание процедур организации воздушного движения, активно ведутся эксперименты по работе с применением новых технологий, однако в известной литературе нет информации об исследованиях возможностей новых методов организации воздушного движения на основе аналитических и статистических данных.

Внедрение технологий и сервисов в России, предусмотренных новыми концепциями ИКАО, приведет к существенным изменениям во всех элементах ЕС ОрВД России.

В рамках данной работы:

- осуществлен анализ существующих методов повышения эффективности использования воздушного пространства;
- выполнен анализ и моделирование технологий организации воздушного движения, предложенных экспертами ИКАО, в условиях производства полетов в Российской Федерации;
- на основе полученных исследований разработаны рекомендации в отношении развития ЕС ОрВД России.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты могут служить обоснованием для определения стратегии развития ЕС ОрВД России: следует ли двигаться, как и всему мировому авиационному сообществу, в направлении технического совершенствования, или развивать ЕС ОрВД в соответствии с интересами страны, не смотря на возможные отказы иностранных авиакомпаний от использования воздушного пространства России.

На защиту выносятся теоретическое и экспериментальное (на основе моделирования) обоснование целесообразности и возможности применения концепций ИКАО в Российской Федерации.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Межвузовской научно-практической конференции, посвящённой Всемирному дню философии (г. Москва, 2019); Межвузовском международном конгрессе «Высшая школа: научные исследования» (г. Москва, 2020); Международном научном форуме «Наука и инновации – современные концепции» (г. Москва, 2020); Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА (г. Москва, 2021); Конкурсе научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых учебных заведений гражданской авиации (г. Москва, 2022); Конкурсе «Молодые ученые транспортной отрасли» (г. Москва, 2022); XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации (г. Москва, 2023).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе рассматривается состояние и перспективы в области развития ЕС ОрВД России. Основными факторами, влияющими на развитие ЕС ОрВД России, стали: рост пассажирооборота, грузооборота и количества полетов воздушного транспорта; рост количества полетов авиации общего назначения; развитие технологий беспилотных летательных аппаратов; усиление влияния организаций эксплуатантов воздушного транспорта; развитие технологий и процедур аэронавигации; согласованность аэронавигационных систем. Работа по совершенствованию ЕС ОрВД направлена на преобразование ее в аэронавигационную систему Российской Федерации.

Кроме того, рассмотрен международный опыт внедрения инновационных технологий, направленных на взаимосвязь глобальных систем гражданской авиации. Для достижения единообразия правил полетов, требований к авиационному персоналу, нормам летной годности воздушных судов сегодня более 12 тысяч международных Стандартов и положений Рекомендуемой практики, установленных и опубликованных ИКАО, приняты Договаривающимися государствами на основе консенсуса.

Чтобы обеспечить непрерывное согласованное совершенствование уровня безопасности полетов и модернизации аэронавигации, ИКАО был разработан Глобальный аэронавигационный план, который не только содержит стратегическое видение и требования, позволяя странам-участникам формировать собственные планы и задачи на ближайшие 15 лет вперед, но и включает концепции, отражающие, какие технические решения будут внедряться в ближайшей перспективе.

Масштабные обновления глобальной ОрВД делают необходимым переход к новым поколениям средств радиотехнического обеспечения полетов, как одной из основ будущей системы ОрВД. Все это позволит участникам воздушного движения оперативно обмениваться необходимой информацией в режиме реального времени.

Реализуемые перспективные технологии аналогичны во всех исследованных странах, что позволяет сформулировать технологические принципы для ЕС ОрВД России на основе опыта других государств.

Реализация программы (аналогичной по уровню SES или NextGen) на национальном уровне позволяет провести комплексную модернизацию ЕС ОрВД России, в том числе поменять принципы и формы управления.

Во второй главе проведено исследование текущей проблематики ЕС ОрВД России, которое включает в себя: анализ внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN), на маршрутах и в районах аэродромов для схем вылета, прибытия и захода на посадку; анализ использования зон ограничения полетов и внедрения зон воздушного пространства со свободной маршрутизацией; анализ мероприятий по созданию условий для полетов беспилотных воздушных судов.

Оптимизация структуры воздушного пространства предполагает ее усовершенствование путем использования навигации, основанной на характеристиках, на маршрутах и в районах аэродромов для схем вылета, прибытия и захода на посадку, а также внедрения зон воздушного пространства со свободной маршрутизацией.

В работе показаны проблемы применения данных концепций в условиях осуществления полетов на территории Российской Федерации, связанные с отсутствием единой технической политики развития аэронавигационной системы, то есть синхронизации наземного оборудования, бортового оборудования, процедур и квалификации персонала при внедрении новых технологий. В результате часть нововведений реализуется с большим запозданием (например, внедрение зональной навигации и переход на применение в Российской Федерации при выполнении полетов в районах аэродромов давления, приведенного к среднему уровню моря по стандартной атмосфере), а часть внедряются значительно раньше, чем пользователи воздушного пространства смогут ими воспользоваться (например, установка станций наземной системы функционального дополнения).

Анализ интенсивности воздушного движения в воздушном пространстве Российской Федерации показал, что в связи с возникновением и распространением во всем мире пандемии COVID-19, формированием на ее фоне мирового финансово-экономического кризиса, а также с учетом ограничений на выполнения полетов в воздушном пространстве Российской Федерации для 36 стран, сохраняется отрицательная динамика изменения общих показателей интенсивности воздушного движения, особенно в сегменте международных полетов. Дальнейшее наращивание противостояния России и стран Запада носит характер устойчивой долгосрочной тенденции, что предполагает грядущее ужесточение санкций, в том числе в сфере гражданской авиации.

В этой связи необходимо заранее разрабатывать и реализовывать планы по повышению пропускной способности органов обслуживания воздушного движения (ОВД), рассчитанные на фактические и прогнозируемые условия воздушного движения. В связи с выходом Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации согласно редакции, указанной в постановлении Правительства Российской Федерации от 02.12.2020 № 1991, в качестве мероприятий по повышению пропускной способности необходимо также рассматривать меры по обеспечению гибкости использования воздушного

пространства, а именно: внедрение условных маршрутов ОВД и воздушного пространства свободной маршрутизации.

Структуризация и организация воздушного пространства в настоящее время и в перспективе для его эффективного использования должна носить динамичный, гибкий и в возрастающей степени тактический характер, приемлемый для всех пользователей. Управление данным процессом требует со стороны центров ОВД тесного взаимодействия с другими поставщиками услуг ОрВД и пользователями для того, чтобы в максимально возможной степени обеспечить им равенство и доступ путем сведения к минимуму ограничения или потребности в отношении использования конкретного объема воздушного пространства.

Структуризация и организация воздушного пространства в современных условиях регламентируется в том числе путем установления зон ограничения полетов в соответствии с Приказом Минтранса России от 24.07.2020 № 255 «Об установлении зон ограничения полетов».

Этот приказ является определяющими для использования воздушного пространства при различных видах авиаперевозок, различных уровнях обслуживания и применении соответствующих технологических правил.

Проведенный анализ активности зон ограничения полетов, установленных в воздушном пространстве Российской Федерации, показал их неэффективное использование. Заявленное время использования воздушного пространства в зонах ограничения полётов пользователями, в интересах которых установлены данные зоны, зачастую значительно меньше фактического.

Практическая значимость изучения показателей активности зон ограничения полётов, имеющих различный режим работы и принадлежность, обусловлена возможностью формирования условных маршрутов определенной категории (CDR 1, CDR 2 или CDR 3) с учётом фактического использования соответствующих зон.

Внедрение таких маршрутов позволит решить проблемы с пропускной способностью воздушного пространства, связанные с ограничениями его использования.

Активное развитие технологий беспилотных авиационных систем (БАС) в Российской Федерации делает необходимой разработку мероприятий по созданию условий для их полетов. К ним относятся разработка правил использования воздушного пространства для БАС в пределах видимости и в выделенном воздушном пространстве, а также поэтапная интеграция БАС в общее воздушное пространство с сохранением приемлемого уровня безопасности полетов.

В настоящее время в мировой практике определены основные концептуальные проблемы, связанные с появлением БАС, предложена дополнительная классификация воздушного пространства, выполнена классификация самих БАС, предложен риск-ориентированный подход к практике выдачи разрешений на полеты, разрабатываются и проверяются технологии обслуживания БАС.

Достигнутый уровень технологий БАС открывает им путь к коммерциализации, но при этом существуют проблемы, ограничивающие ключевые преимущества БАС и препятствующие их распространению на рынке авиационных услуг.

Создание условий для полетов беспилотных авиационных систем при взаимодействии с пилотируемыми воздушными судами, является одной из задач, решение которой позволит сохранить приемлемый уровень безопасности полетов в процессе их интеграции в единое воздушное пространство.

Разработка правил и процедур для интеграции БАС в общее воздушное пространство еще требует большой работы. Совершенствование Российского законодательства и устранение административных барьеров, сдерживающих развитие отрасли БАС, стало возможным благодаря законопроекту об экспериментальных правовых режимах для цифровых инноваций. Концепция законопроекта такова, что позволяет делать любые изъятия из федеральных и региональных нормативных актов для снятия барьеров быстрорастущим инновационным рынкам. По итогам правовых экспериментов будет меняться законодательство.

Важно понимать, что внедрение новых аэронавигационных технологий занимает достаточно длительное время. Это связано с повышенным вниманием к безопасности и, соответственно, длительными процессами валидации, стандартизации и сертификации всех технических решений, влияющих на безопасность полетов.

В третьей главе выполнено конструирование имитационной модели для оценки эффективности использования новых концепций ИКАО в ЕС ОрВД России. С этой целью сформулирована задача и выполнено построение модели интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в воздушное пространство Российской Федерации, предусмотренной Федеральным проектом «Беспилотная аэродоставка грузов» для АО «Почта России», который осуществляется согласно экспериментальному правовому режиму в сфере цифровых инноваций России.

Подготовлены материалы по моделированию поля покрытия, создаваемого двадцатью пятью станциями многопозиционной системы наблюдения, которые планируется установить для наблюдения за беспилотными летательными аппаратами. Проведенный анализ показал, что указанных станций недостаточно для обеспечения наблюдения за полетами БВС по всем маршрутам полета, а слабо развитая инфраструктура района не позволяет обеспечить полное покрытие полем наблюдения на всех маршрутах.

Обеспечение навигации при осуществлении полетов БАС наземными радиотехническими средствами будет альтернативным методом в случае нарушения целостности поля глобальной навигационной спутниковой системы. Основой навигационного поля для обеспечения полетов беспилотных воздушных судов в Российской Федерации будет являться глобальная навигационная спутниковая система, включающая спутниковые созвездия ГЛОНАСС и GPS.

Перспективным решением по созданию условий для полетов беспилотных авиационных систем при взаимодействии с пилотируемыми воздушными судами становится создание пунктов дистанционного пилотирования с использованием линии C2 для управления БВС. Здесь подразумевается возможность

осуществления управления БВС с одного из многих таких пунктов на протяжении всего полета.

Заключение:

1. Несмотря на наличие одобренной на заседании правительства Российской Федерации от 4 октября 2006 года Концепции создания и развития аэронавигационной системы России, отсутствие механизмов ее внедрения привело издержкам пользователей воздушного пространства, вызванным неоптимальной геометрией воздушных трасс, минимальным применением зональной навигации, ограничениями на динамические корректировки траектории полета, неоптимальными процедурами снижения и набора высоты.

Нормативно-правовая база документов Российской Федерации все еще содержит внутренние противоречия. Широко употребляемое, в том числе в официальных документах, понятие «аэронавигационная система» в ней отсутствует.

Необходимо консолидировать усилия всех заинтересованных сторон для разработки и внедрения Стратегии развития аэронавигационной системы России и Аэронавигационного плана, нацеленных на решение данных проблем, следуя в рамках Глобального аэронавигационного плана и передового международного опыта.

2. Внедряемые технологии и сервисы должны соответствовать оптимальному уровню ОрВД. Для принятия решения об использовании нового сервиса или технологии на первом шаге должна разрабатываться и проверяться эксплуатационная концепция, на втором должны разрабатываться технико-экономические обоснования и проводиться испытания непосредственно на предполагаемом месте использования.

Внедряемые средства и виды обслуживания должны образовывать комплексную систему, обеспечивающую полеты авиации в соответствии с российскими и международными требованиями, в том числе требованиями единой технической политики на транспорте, национальной и транспортной безопасности.

Прежние системы должны выводиться из эксплуатации только после подтверждения безопасности функционирования новых систем в реальных условиях. Внедрение новых технологий и сервисов должно сопровождаться соответствующим обучением персонала. Помимо непосредственного обучения, упор должен быть сделан на мотивацию персонала к применению новых технологий и сервисов, обеспечению эффективности траекторий и удобства получения аэронавигационного обслуживания для пользователей.

3. Большинство традиционных маршрутов вылета, прибытия и захода на посадку являются неэффективными с точки зрения протяженности и профиля снижения и набора высоты, так как основаны на зоне действия наземных средств, что приводит к снижению пропускной способности в районе аэродрома и увеличению расхода топлива.

Разработка и внедрение концепции воздушного пространства с использованием PBN позволяет получить значительные преимущества, касающиеся безопасности полетов, пропускной способности воздушного пространства и эффективности полетов.

Выбор и замена технологий, техническое и технологическое переоснащение самолетов и средств управления воздушным движением в Российской Федерации также должны осуществляться с учетом перспективного преобразования и использования новых подходов в области организации воздушного движения и исходя из целевых интересов всего сообщества ОрВД. Универсальность и стандартизация технологий для системы ОрВД является ключом, открывающим огромный потенциал для сокращения расходов на закупку оборудования, а также на эксплуатацию и поддержание провайдеров аэронавигационного обслуживания.

4. БАС, как и любые другие пилотируемые в общем воздушном пространстве летательные аппараты, в соответствии с требованиями ИКАО, попадают под действие системы сертификации. В Российской Федерации впервые требования по сертификации БАС с введены в 2015 году.

Отсутствие специализированного оборудования и полигонов для летных сертификационных испытаний с соответствующими комплектами оснащения

стало главным сдерживающим фактором и технологическим барьером легитимного коммерческого применения БАС гражданского назначения.

Однако, благодаря усилиям Правительства Российской Федерации, НТИ «Аэронет», авиационного сообщества складываются условия для сертификации БАС, как российского, так и зарубежного производства. Это проект по созданию платформы цифрового и летного полигона беспилотных авиационных систем (Полигон БАС), а также проект по созданию системы информационного обеспечения полетов беспилотных воздушных судов (RUTM1).

Установление экспериментальных правовых режимов на территории Российской Федерации для АО «Почта России» стало одним из первых шагов на пути внедрения цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных авиационных систем.

5. В рамках мероприятий по интеграции БАС в общее воздушное пространство необходимо провести ряд исследований в области создания системы организации движения БАС с учетом передового мирового опыта, разработать технологии мониторинга полетов БАС. Рассмотреть возможность использования уже принятых в мире технологий наблюдения и связи и инфраструктуры сотовых операторов при полетах БАС на предельно малых высотах (до 150 м). Разработать и внедрить защищенную линию контроля и управления БАС, технологии защиты линии передачи данных для управления БАС и линии передачи данных внешнего пилота с органом ОВД. Для обеспечения безопасности полетов БАС необходимо разработать технологии обнаружения и ухода от столкновения, а также способ предотвращения ущерба людям и имуществу при потере управления БАС.

6. Во всем мире отмечается, что в будущем в организации воздушного движения не будет выделяться специфическое обслуживание для беспилотных или пилотируемых воздушных судов. Это возможно и будет одним из признаков интеграции БАС в общее воздушное пространство. Технологии полетов беспилотных воздушных судов в контролируемом воздушном пространстве будут осуществляться по правилам, установленным для пилотируемой авиации.

7. Анализируя мероприятия, связанные с модернизацией ЕС ОрВД России, главное внимание в современных условиях следует уделять не математической оптимизации, а неформальным методам поиска удовлетворительных решений с использованием концепций морфологического подхода.

Морфологический подход – это метод логической организации идей, позволяющий добиться обзора всех возможных вариантов решений крупной задачи. Данный подход в управлении представляет собой строгий логический метод выбора и комбинирования различных средств для достижения поставленной цели. Он базируется на рациональном использовании математических методов анализа, обработки и представлении информации в агрегированном виде.

В соответствии с концепцией морфологического подхода главной задачей в процессе принятия решений становится поиск решения, удовлетворительного с точки зрения многих целей. При этом требование построения единственного критерия степени достижения целей, выступающего в роли критерия оптимальности, заменяется требованием построения набора целевых показателей.

С математической точки зрения морфологический подход предполагает процесс выработки решений, основанный на адаптации и обучении. При этом поиск решений рассматривается как многошаговый повторяющийся процесс итерационного типа, в ходе которого постоянно сравниваются цели с возможностями их достижения, изыскиваются новые возможности, а сами цели корректируются в зависимости от имеющихся ресурсов.